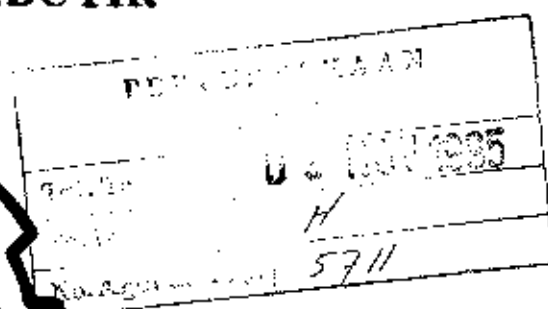


TUGAS AKHIR

PENURUNAN KANDUNGAN NITROGEN AMMONIA DALAM LIMBAH BUATAN DENGAN SISTEM BIOFILM AEROBIK PADA MEDIA BERBUTIR

RSS
628.168
Ast
p-1
1994



Oleh :

INDRIATI DWI ASTUTI

NRP. 389 330 0182

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1994

**PENURUNAN KANDUNGAN NITROGEN AMMONIA
DALAM LIMBAH BUATAN
DENGAN SISTEM BIOFILM AEROBIK
PADA MEDIA BERBUTIR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Lingkungan
Pada
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Mengetahui / Menyetujui

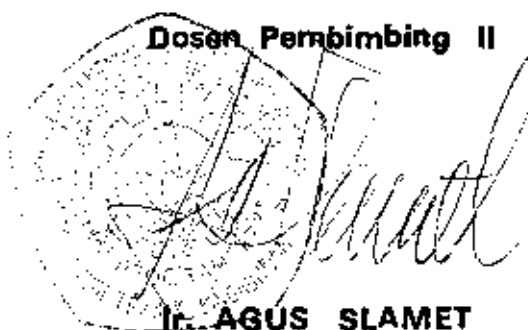
Dosen Pembimbing I



Ir. ATI HARTATI, M.Sc.

NIP. 131 407 590

Dosen Pembimbing II



Ir. AGUS SLAMET

NIP. 131 651 692

**S U R A B A Y A
OKTOBER, 1994**

ABSTRAK

Kehadiran senyawa nitrogen yang berlebih di dalam badan air penerima dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan perairan tersebut. Dampak negatif senyawa nitrogen antara lain yaitu penurunan kandungan oksigen terlarut dan bersifat toksik. Banyak teknik pengolahan air limbah yang dapat mengurangi kandungan nitrogen dalam bentuk ammonia, salah satu di antaranya adalah dengan menggunakan sistem attached growth (biofilm).

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui penurunan kandungan nitrogen ammonia dalam limbah buatan menggunakan sistem biofilm pada media berbutir dengan penambahan udara. Guna untuk mengetahui penurunan nitrogen ammonia dalam model reaktor biofilm ini maka dilakukan penelitian dengan variasi BOD/N antara 2 sampai 20, konsentrasi BOD antara 200 sampai 500 mg/l dan hidrolis loading 5 sampai 10 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$.

Reaktor pada penelitian ini menggunakan sistem aliran upflow continous dengan reaktor berbentuk tabung berdiameter 20 cm dan media yang digunakan adalah kerikil berdiameter 1 cm setinggi 180 cm. Serta debit udara yang dialirkan sebesar 2,2 l/menit.

Dari hasil penelitian, efisiensi terbesar yaitu 96,4% dicapai pada hidrolis loading 5 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$ dan perbandingan BOD/N sama dengan 5, dengan konsentrasi BOD dan konsentrasi N-NH_4^+ masing-masing sebesar 225,89 mg/l dan 43,35 mg/l.

KATA PENGANTAR

Pertama-tama saya mengucapkan puji syukur atas karunia Allah SWT sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir (LI 1703). Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir dengan judul "Penurunan Kandungan Nitrogen Ammonia Dalam Limbah Buatan Dengan Sistem Biofilm Aerobik Pada Media Berbutir" merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS.

Pada kesempatan ini saya menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan doa restu,
2. Ibu Ir. Ati Hartati, MSc. sebagai dosen Pembimbing,
3. Bapak Ir. Agus Slamet sebagai co pembimbing,
4. Bapak Ir. Gogh MSc. serta Bapak Ir Eddy Soedjono MSc. yang telah memberikan pengetahuan dan saran pada penelitian ini.
5. Bapak Dr. Ir. Wahyono Hadi, MSc. sebagai Ketua Program Studidan Ibu Ir. Nieke K. selaku Sekretaris Jurusan, juga kepada seluruh bapak ibu dosen yang telah

memberikan ilmu pengetahuan selama kuliah.

6. Karyawan laboratorium Teknik Lingkungan ITS yang telah banyak membantu kelancaran penelitian.
7. Kepada rekanku Evy terima kasih atas kerjasamanya dan bantuannya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Dan buat rekan Winda, Frida, Dewi, Fithri, Susi, serta rekan-rekan TL lainnya (khususnya 89) atas kebersamaannya selama ini.

Akhirnya, semoga buku ini bermanfaat, khususnya yang mempunyai minat pada masalah ini. Segala kritik dan saran pada Tugas Akhir ini sangat berguna untuk memperbaikinya.

Surabaya, September 1994

Penulis

DAFTAR SIMBOL

μ	kecepatan pertumbuhan spesifik mikroorganisma
$\hat{\mu}$	kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum mikroorganisma
K_s	konsentrasi substrat pada saat kecepatan pertumbuhan setengah dari maksimum
S	konsentrasi substrat
q_N	kecepatan oksidasi ammonia
\hat{q}_N	kecepatan maksimum oksidasi ammonia
Y_N	koefisien yield mikroorganisma
μ_N	kecepatan pertumbuhan spesifik <i>Nitrosomonas</i>
$\hat{\mu}_N$	kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum <i>Nitrosomonas</i>
DO	oksigen terlarut
KO_2	konsentrasi oksigen pada saat kecepatan pertumbuhan setengah dari maksimum
P	tekanan parsial
K_{La}	koefisien overall gas transfer
C_s	konsentrasi kejenuhan oksigen
C	konsentrasi oksigen aktual
t	waktu

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 IDE STUDI	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 RUANG LINGKUP	4
 BAB II TIJAUAN PUSTAKA	
2.1 UMUM	6
2.2 KARAKTERISTIK AIR LIMBAH	7
2.3 PROSES BIOLOGIS PADA REAKTOR BIOFILM	8
2.4 SIKLUS NITROGEN	11
2.5 NITRIFIKASI	16
2.5.1 Bakteri Nitrifikasi	16

2.5.2 Hubungan Antara Energi dan Sintesa sel	18
2.5.3 Kinetika Nitrifikasi	22
2.5.3.1 Pengaruh Konsentrasi Ammonia	22
2.5.3.2 Hubungan Pertumbuhan Bakteri dengan kecepatan oksidasi	24
2.5.3.3 Pengaruh Temperatur	25
2.5.3.4 Pengaruh Oksigen Terlarut	27
2.5.3.5 Pengaruh pH	28
2.5.3.6 Pengaruh Beban Hidrolik	31
2.5.3.7 Pengaruh Inhibitor	31
2.6 GAS TRANSFER	34
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 UMUM	38
3.2 KERANGKA PENELITIAN	38
3.3 MODEL INSTALASI PENGOLAHAN	41
3.4 KOMPOSISI AIR YANG AKAN DIOLAH	45
3.5 PELAKSANAAN PENELITIAN	46
3.5.1 Seeding: (Pembenihan)	48
3.5.2 Pengoperasian Model Instalasi Pengolahan	47
3.5.3 Parameter Yang Dikontrol	49
3.5.4 Parameter Yang Dianalisa	50
3.5.4.1 Permanganat Value (PV)	50

	3.5.4.2 BOD (Biological Oxygen Demand)	50
	3.5.4.3 Analisa Ammonium	51
	3.5.4.3 Analisa Nitrit dan Nitrat	51
	3.5.4.4 Analisa MLVSS	52
	3.6 METODA SAMPLING	52
	3.7 ANALITICAL QUALITY CONTROL	57
BAB	IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
	4.1 UMUM	55
	4.2 PENGARUH PERBANDINGAN BOD/N TERHADAP REMOVAL $N-NH_4^+$	57
	4.3 PENGARUH KONSENTRASI BOD TERHADAP REMOVAL $N-NH_4^+$	65
	4.4 PENGARUH HIDROLIK LOADING TERHADAP REMOVAL $N-NH_4^+$	72
BAB	V KESIMPULAN DAN SARAN	
	5.1 KESIMPULAN	79
	5.2 SARAN	80
	DAFTAR PUSTAKA	81
	LAMPIRAN	84

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
2.1 Modifikasi Reaksi Oksidasi dan Pertumbuhan Dalam Nitrifikasi Yang Berhubungan Dengan Sistem Asam Carbonat	21
2.2 Harga Tipikal Parameter Monod Untuk Oksida- si Ammonia dan Nitrit	23
2.3 Senyawa-Senyawa Inhibitor Terhadap Bakteri Nitrifikasi	32
3.1 Karakteristik Instalasi Pengolahan	45
3.2 Komposisi Air Limbah Yang Diolah	48
3.3 Kondisi Operasional	48
4.1 Pengaruh Antara BOD/N Dengan Removal $N-NH_4^+$	62
4.2 Pengaruh Antara Konsentrasi BOD Dengan Removal $N-NH_4^+$	68
4.3 Pengaruh Antara Hidrolik Loading Dengan Removal $N-NH_4^+$	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
2.1 Skema Proses Biologis Dalam Media Filter ..	10
2.2 Siklus Nitrogen di Alam	13
2.3 Pengaruh Konsentrasi Substrat Terhadap La- ju Pertumbuhan Bakteri Nitrifikasi	24
2.4 Pengaruh Temperatur Pada Nitrifikasi	27
2.5 Hubungan Sisa Ammonium dan Oksigen Terlarut	28
2.6 Pengaruh pH Terhadap Aktivitas bakteri <i>Nitrosomonas</i> dan <i>Nitrobacter</i> Pada Proses Ni- trifikasi	29
2.8 Sketsa Mekanisma Perpindahan Gas	35
3.1 Kerangka Penelitian	39
3.2 Model Instalasi Pengolahan	44
3.3 Kurva Keadaan Steady State	53
4.1 Hubungan Antara BOD/N Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada Hidrolik Loading $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$	63
4.2 Hubungan Antara BOD/N Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada Hidrolik Loading $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$	64
4.3 Hubungan Antara BOD/N Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada Hidrolik Loading $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$	65
4.4 Hubungan Antara Konsentrasi BOD Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada Hidrolik Loading $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$	68

4.5	Hubungan Antara Konsentrasi BOD Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada Hidrolik Loading $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$	70
4.6	Hubungan Antara Konsentrasi BOD Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada Hidrolik Loading $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$	71
4.7	Hubungan Antara Hidrolik Loading Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada $BOD/N = 2$	75
4.8	Hubungan Antara Hidrolik Loading Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada $BOD/N = 5$	76
4.9	Hubungan Antara Hidrolik Loading Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada $BOD/N = 10$	77
4.10	Hubungan Antara Hidrolik Loading Dengan Removal $N-NH_4^+$ Pada $BOD/N = 20$	78

DAFTAR LAMPIRAN

halaman

Lampiran 1	Pembuatan Substrat	84
2	Analisa Ammonium (NH_4^+)	85
3	Analisa Nitrogen Nitrat (N-NO_3^-)	88
4	Analisa Nitrogen Nitrit (N-NO_2^-)	91
5	Analisa Permanganat Value (PV)	94
6	Analisa Biological Oxygen Demand	96
7	Analisa MLSS dan MLVSS	98
8	Analitical Quality Control NH_4^+	100
9	Analitical Quality Control N-NO_3^-	104
10	Analitical Quality Control N-NO_2^-	108
11	Analitical Quality Control PV	112
12	Analitical Quality Control BOD	116
13	Kalibrasi Rotameter	120
14	Data Hasil Penelitian	123
15	Contoh Perhitungan Kebutuhan Udara ..	126

B A B I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Aktivitas manusia banyak memberikan pengaruh pada lingkungan. Penurunan kualitas dari badan air adalah merupakan salah satu akibat dari aktivitas manusia. Pencemaran lingkungan adalah suatu hal yang harus dicegah karena itu hal-hal yang mendukung pencemaran harus selalu dipantau dan dikendalikan termasuk di dalamnya kadar karbon maupun nitrogen pada limbah. Penanganan air limbah yang hanya ditujukan untuk mengurangi kandungan senyawa karbon saja tidak cukup untuk menjamin terpeliharanya kualitas badan air. Sehingga sistem pengolahan air limbah saat ini tidak untuk mengurangi kandungan karbon saja, tetapi juga untuk menurunkan kadar nitrogen.

Dampak negatif yang ditimbulkan oleh kehadiran senyawa nitrogen tergantung bentuk senyawa tersebut dalam air. Kehadiran senyawa dalam bentuk ammonia berlebih selain akan menyebabkan penurunan kandungan oksigen dalam air juga bersifat toksik pada kehidupan ikan. Standart yang ditetapkan untuk sungai yang digunakan oleh environmental Protection Agency and Euperean island Fisheries Advisory

Commission untuk nitrogen ammonia adalah 0,02 mg/l. Sedangkan kehadiran senyawa nitrogen dalam bentuk nitrat dan nitrit yang berlebih dalam badan air yang diperuntukan untuk air minum dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada bayi yaitu gejala methemoglobinemia. Batas maksimum konsentrasi nitrat yang ditetapkan oleh Depkes bagi perairan untuk air minum 10 mg/l.

Sumber senyawa nitrogen umumnya berasal dari industri kimia, pabrik makanan, buangan manusia dan hewan. Alternatif untuk menurunkan konsentrasi senyawa nitrogen yaitu secara kimiawi, fisik dan biologis. Dari ketiga cara tersebut yang paling sering digunakan untuk proses pengolahan air limbah adalah cara biologis karena lebih ekonomis, yaitu dengan memanfaatkan mikroorganisme dalam proses pengolahan. Proses nitrifikasi adalah suatu fenomena biologis dalam menurunkan kandungan nitrogen ammonia. Pada proses ini nitrogen ammonia diubah menjadi nitrogen nitrit dan kemudian menjadi nitrogen nitrat dengan bantuan dari bakteri Nitrifikasi. Bakteri nitrifikasi yang paling umum dikenal adalah *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*.

Didasarkan cara tumbuh mikroba terhadap air limbah yang diolah, maka sistem pengolahan limbah secara biologis di-

bedakan menjadi dua, yaitu *suspended growth* dan *attached growth* (*biofilm*). Proses nitrifikasi dapat terjadi pada sistem *suspended growth* maupun sistem *biofilm*.

Pada penelitian ini, dilakukan pengolahan air limbah untuk menurunkan kandungan senyawa nitrogen ammonia menggunakan sistem *biofilm* pada media berbutir. Dengan demikian dapat dilihat sejauh mana proses nitrifikasi berlangsung pada sistem pengolahan biologis ini.

1.2 IDE STUDI

Proses pengolahan air limbah ditujukan agar tidak timbul pencemaran dalam badan air penerima. Salah satu parameter dalam air limbah yang dapat menimbulkan masalah yaitu nitrogen ammonia.

Mekanisme penurunan nitrogen ammonia dapat berlangsung dengan proses nitrifikasi, yaitu suatu proses yang memanfaatkan aktivitas biologis dari mikroba. Proses nitrifikasi selain terjadi pada sistem *attached growth* (*biofilm*), juga dapat terjadi pada sistem *suspended growth* dimana masing-masing sistem tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pada penelitian ini penurunan kandungan nitrogen ammonia dilakukan dengan menggunakan sistem *biofilm*.

Salah satu kelebihan sistem biofilm ini yaitu sistem pengoperasiannya lebih sederhana karena sistem ini tidak meresirkulasi lumpur dari bak pengendap. Sedangkan pada sistem suspended growth diperlukan resirkulasi lumpur dari bak pengendap sehingga apabila terjadi gangguan pada tangki aerasi yang mempengaruhi proses pengendapan lumpur, dapat mengganggu sistem resirkulasi dan selanjutnya akan mempengaruhi pula proses dalam tangki aerasi. Karena dalam sistem suspended growth antara tangki aerasi dan tangki sedimentasi saling berhubungan.

Pada penelitian ini penambahan udara dimaksudkan agar dapat meningkatkan transfer oksigen sehingga ketebalan zona aerobik pada biofilm semakin dalam. Dengan demikian diharapkan proses nitrifikasi dapat berlangsung dengan baik. Guna untuk mengetahui removal (penurunan) kandungan senyawa nitrogen ammonia diperlukan suatu penelitian terhadap model reaktor yang ada dengan variasi perbandingan BOD/N, konsentrasi BOD serta variasi hidrolik loading.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penurunan kandungan nitrogen ammonia menggunakan sistem biofilm pada media berbutir dengan penambahan udara.

1.4 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium yang terdiri dari rangkaian reaktor biofilm dengan media kerikil berdiameter 1 cm.
2. Pembenihan, yang bertujuan untuk memperoleh mikro-organisme yang berupa lapisan lendir/slime pada media kerikil.
3. Air limbah buatan dan udara dialirkan secara bersama-sama dan terus-menerus dari bawah ke atas (co current).
4. Debit udara yang dialirkan ke dalam reaktor konstan yaitu 2,2 l/menit.
5. Mengoperasikan instalasi yang ada dengan menggunakan limbah buatan dengan variasi konsentrasi BOD antara 200 sampai 500 mg/l, perbandingan BOD/N antara 20 sampai 2 dan hidrolis loading antara 5 sampai 10 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$.

B A B II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 UMUM

Berdasarkan cara tumbuh mikroba terhadap air limbah yang diolah, maka sistem pengolahan limbah secara biologis dibedakan menjadi dua yaitu *suspended growth* dan *attached growth* (reaktor biofilm). Pada sistem *suspended growth*, mikroba pengurai tumbuh tersuspensi pada limbah yang diolah. Sedang pada reaktor biofilm, mikroba pengurai tumbuh menempel pada media penyangga dengan membentuk suatu lapisan lendir/slime.

Contoh reaktor biofilm yaitu antara lain *trickling filter*, *rotating biological filter* dan *activated biofilter*. Pada penelitian ini digunakan media kerikil sebagai tempat tumbuh mikroorganisme dan kebutuhan udara disuplai dari kompressor.

Pada bab ini berisikan teori-teori yang menunjang penelitian ini, antara lain tentang karakteristik air limbah, proses biologis pada reaktor biofilm, siklus nitrogen, nitrifikasi dan mekanisme gas transfer.

2.2 KARAKTERISTIK AIR LIMBAH

Karakteristik air limbah pada dasarnya meliputi karakteristik fisik, kimiawi dan biologis (Metcalf, 1979). Karakteristik yang terdapat dalam air limbah ini merupakan sumber pencemar yang penting untuk diperhatikan. Oleh karena itu proses pengolahan dalam hal ini sangat diperlukan. Standard pengolahan kedua (secondary treatment) untuk air limbah ditujukan untuk menurunkan kandungan organik yang mudah diuraikan secara biologis (biodegradable), suspended solid dan kandungan bibit penyakit (pathogen). Kemudian standard ini berkembang yaitu juga untuk penurunan kandungan nutrien terutama kandungan nitrogen dan fosfor dalam air limbah.

Karakteristik fisik dari air limbah meliputi padatan (solid), bau, temperatur dan warna. Total solid meliputi suspended solid dan filterable solid. Karakteristik kimiawi dalam air limbah meliputi kandungan organik, kandungan anorganik dan gas. Pada umumnya zat organik berisikan kombinasi dari karbon, hidrogen dan oksigen bersama-sama dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting seperti belerang, fosfor dan besi bisa juga ditemukan. Bahan organik yang lain termasuk detergen, phenol, pestisida dan lain-lain. Pengukuran kandungan organik dalam

air limbah meliputi biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD) dan total oxygen demand (TOD). Kandungan anorganik dalam limbah meliputi kandungan ion hidrogen (pH), chloride, alkalinity, kandungan nitrogen, phosphor, sulfur, kandungan yang bersifat toksik serta kandungan logam berat. Kandungan yang bersifat toksik antara lain seperti tembaga, timbal, perak, chromium, arsenik dan boron. Sedangkan kandungan logam berat antara lain nikel, mangan, timbal, chromium, kadmium, seng, tembaga, besi dan mercury.

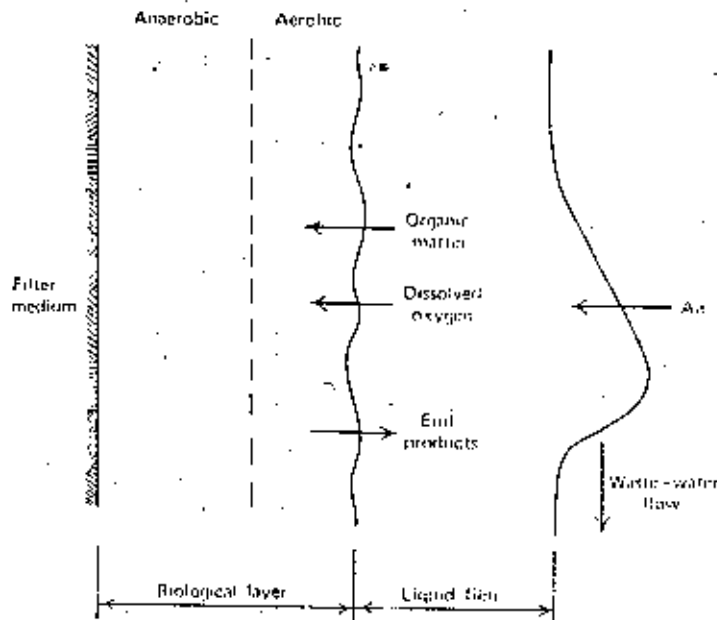
Pada setiap jenis limbah kuantitas dan kualitasnya berbeda-beda. Sehingga setiap jenis limbah belum tentu proses pengolahannya sama tergantung karakteristiknya. Untuk air limbah yang mengandung komponen nitrogen terdapat beberapa jenis pengolahan yaitu nitrifikasi-denitrifikasi, ion exchange, ammonia stripping dan breakpoint chlorination. Proses nitrifikasi-denitrifikasi dapat terjadi pada sistem suspended growth maupun sistem attached growth (biofilm).

2.3 PROSES BIOLOGIS PADA REAKTOR BIOFILM

Pada reaktor biofilm, proses pengolahan biologis berlangsung dengan memanfaatkan lapisan film yang melekat

pada suatu media. Lapisan yang berbentuk lendir ini merupakan suatu kumpulan mikroorganisma yang terutama terdiri dari bakteri, protozoa dan jamur yang memakan zat-zat organik dalam limbah. Selain mikroorganisma di atas, mungkin terdapat cacing, larva lalat, rotifera dan biota lainnya. Jika terdapat cahaya dapat merangsang pertumbuhan alga pada permukaan media.

Substrat yang masuk ke dalam reaktor, sebagian dioksidasi untuk memperoleh energi dan sebagian digunakan untuk membentuk sel baru. Dengan meningkatnya substrat yang masuk dapat menambah ketebalan film. Sejalan dengan bertambahnya film, penetrasi oksigen ke dalam biofilm akan semakin terbatas. Sehingga pada biofilm dapat terbentuk dua zona, yaitu lapisan film aerobik (kondisi ada oksigen) dan anaerobik (kondisi tidak ada oksigen). Skematik aktivitas biologis yang terjadi pada media filter dapat dilihat pada gambar 2.1. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa substrat dan oksigen akan berdifusi ke dalam lapisan film dan digunakan oleh mikroba untuk mempertahankan kelangsungan hidup.



Gambar 2.1 Skema proses biologis dalam media filter

Sumber: Hammer, Mark J. 1975, *Water and Wastewater Technology*, halaman 364.

Proses yang dapat terjadi pada reaktor biofilm, selain oksidasi senyawa organik karbon juga oksidasi senyawa ammonia yang lazim disebut nitrifikasi. Proses nitrifikasi dapat terjadi pada zona aerobik, sedangkan bila terbentuk zona anaerobik diharapkan dapat terjadi denitrifikasi. Menurut Kornegay (1971), ketebalan lapisan aerobik berkisar sampai 70 micron, sedangkan menurut Hoehn (1973) berpendapat bahwa lapisan aerobik dapat mencapai 150 sampai 250 micron.

Ketebalan aerobik zone ditentukan oleh kemampuan penetrasi oksigen kedalam lapisan biofilm, dimana tergantung pada koefisien difusi oksigen dalam film, konsentrasi

oksigen pada solid liquid interface, overall oksigen utilization rate untuk mikroorganisma yang terdapat pada lapisan film. Sedangkan kedalaman penetrasi substrat dalam lapisan mikroba film tergantung pada debit aliran, konsentrasi dan koefisien difusi substrat dalam film serta kecepatan utilisasi substrat oleh biomassa.

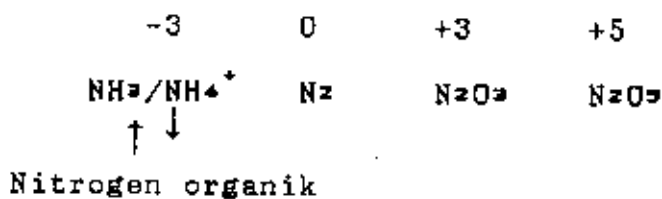
Kandungan substrat yang terdapat pada air limbah dimakan terlebih dahulu oleh mikroba pada lapisan aerobik sebelum mencapai mikroorganisma yang melekat pada permukaan media. Tidak adanya makanan yang cukup pada lapisan anaerobik menyebabkan mikroorganisma memasuki phase respirasi endogenous, mikroorganisma yang berada dalam keadaan lapar akan memanfaatkan bahan sitoplasmanya untuk mempertahankan kehidupan. Dalam fasa ini mikroorganisma tersebut akan kehilangan kemampuan untuk menempel pada media, kemudian terlepas dan terbawa keluar dari filter, yang dinamakan sloughing. Selain itu sloughing juga disebabkan oleh kondisi hydrodinamik.

2.4 SIKLUS NITROGEN

Senyawa nitrogen adalah senyawa yang kompleks karena mempunyai beberapa bilangan oksidasi dan dapat terjadi perubahan bentuk bilangan oksidasi secara biologis dengan

bantuan organisme. Perubahan bilangan oksidasi ini oleh bakteri dapat dari bilangan oksidasi rendah ke tinggi ataupun sebaliknya, tergantung dari kondisinya aerobik atau anaerobik.

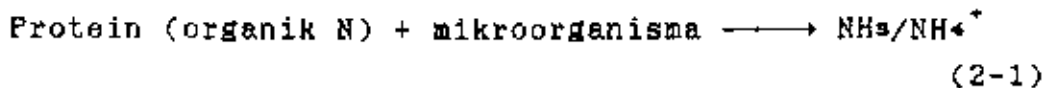
Dalam bentuk senyawa anorganik, nitrogen mempunyai tujuh bilangan oksidasi (Sawyer, 1978). Dari keseluruhan bentuk yang ada, bentuk senyawa nitrogen yang penting dalam siklus nitrogen adalah sebagai berikut:



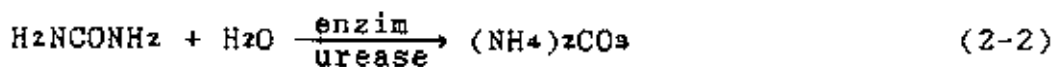
Perubahan senyawa nitrogen yang terjadi meliputi proses fiksasi, amonifikasi, asimilasi, nitrifikasi dan denitrifikasi. Reaksi ini terjadi dengan bantuan mikroorganisme dimana dalam reaksi ini mikroorganisme memperoleh dan melepaskan energi. Hubungan antara berbagai bentuk nitrogen dan perubahannya yang terjadi di alam dapat dilihat pada gambar 2.2.

tanbat oleh bakteri dan alga digunakan oleh tumbuh-tumbuhan dan berubah menjadi protein nabati yang merupakan bentuk organik nitrogen, yang nantinya jika dimakan oleh hewan terbentuk protein hewani.

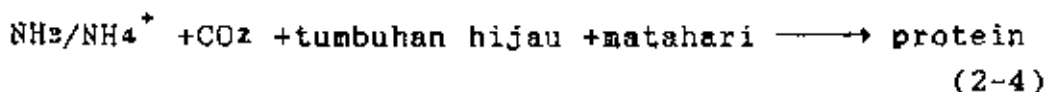
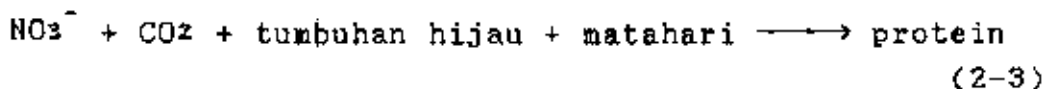
Hewan yang telah mati dan juga tumbuhan yang telah mati mengalami deaminasi yang dilakukan oleh mikroorganisme dan terbentuk ammonium. Proses perubahan dari organik nitrogen menjadi ammonium ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) disebut ammonifikasi.



Nitrogen dari kotoran hewan pada prinsipnya sebagai urea. Urea dapat dihidrolisis oleh enzim urease menjadi ammonium carbonat.

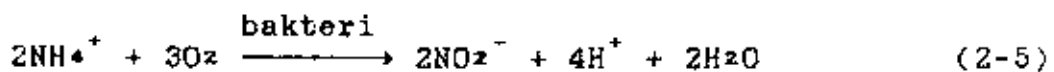


Ammonium ataupun nitrat berguna bagi tumbuh-tumbuhan dan mikroorganisme untuk asimilasi menjadi sel baru, yang merupakan protein nabati.



Hewan membutuhkan protein dari tumbuhan atau dari hewan lain. Demikianlah perubahan bentuk dari nitrogen anorganik menjadi nitrogen organik.

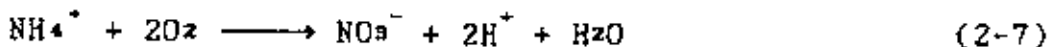
Ammonium sebagian besar mengalami oksidasi biologis menjadi bentuk nitrit dan nitrat pada kondisi aerobik dimana proses ini disebut nitrifikasi. Oksidasi ammonium menjadi nitrit pada umumnya dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas*,



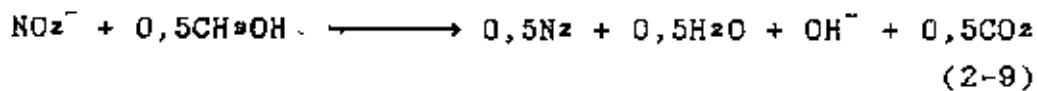
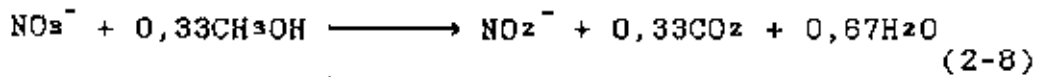
Oksidasi nitrit menjadi nitrat pada umumnya dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter*,



Secara keseluruhan reaksi nitrifikasi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Nitrat dapat mengalami reduksi biologis menjadi bentuk nitrit dan kemudian membentuk gas nitrogen pada kondisi anaerobik, dimana proses ini disebut proses denitrifikasi. Bakteri denitrifikasi antara lain meliputi *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter* dan *Bacillus*. Dalam bentuk sederhana, tahap reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Kandungan nitrogen dalam effluen dari pengolahan air limbah dapat menyebabkan beberapa dampak negatif. Dampak negatif yang terjadi antara lain:

1. Proses Eutrofikasi
2. Penurunan konsentrasi oksigen terlarut sebagai hasil proses nitrifikasi yang terjadi dalam air, yang dapat merusak kehidupan air.
3. Bagi badan air penerima yang sekaligus berfungsi sebagai air baku untuk air minum, pencemaran senyawa nitrogen dalam khususnya nitrat dapat menyebabkan gejala methanoglobinemia.

2.5 NITRIFIKASI

2.5.1 Bakteri Nitrifikasi

Menurut Grady dan Lim (1980) nitrifikasi didefinisikan sebagai konversi nitrogen ammonia (N-NH_4^+) menjadi bentuk nitrat (N-NO_3^-). Proses ini merupakan reaksi oksidasi dimana melibatkan bakteri nitrifikasi. Mikroorganisme yang paling dikenal dan paling penting dalam proses nitrifikasi adalah bakteri dari genus *Nitrosomonas* dan *Ni-*

nitrobacter, *Nitrosomonas* merupakan bakteri yang mengoksidasi ammonium menjadi nitrit dan *Nitrobacter* merupakan bakteri yang mengoksidasi nitrit menjadi nitrat.

Selain itu dikenal bakteri dari genus *Nitrosopira*, *Nitrosococcus* dan *Nitrosocystis* yang dapat mengoksidasi ammonium menjadi nitrit. Sedangkan bakteri yang dapat mengoksidasi nitrit menjadi nitrat selain *Nitrobacter* adalah *Nitrosogloea* dan *Nitrocystis*.

Nitrosomonas mengoksidasi $N-NH_4^+$ menjadi $N-NO_3^-$, yang menurut T.M Cook et.al (1973) melalui beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:



Secara keseluruhan proses tersebut adalah seperti yang terdapat pada persamaan 2-5.

Sedangkan *Nitrobacter*, proses mendapatkan energinya terdiri dari satu tahapan tunggal oksidasi nitrit menjadi nitrat. Persamaan reaksinya seperti yang terdapat dalam persamaan 2-6.

Kedua mikroorganisma ini mendapat energi untuk pertumbuhan dari mengoksidasi senyawa-senyawa anorganik, sehingga keduanya dapat diklasifikasikan sebagai bakteri

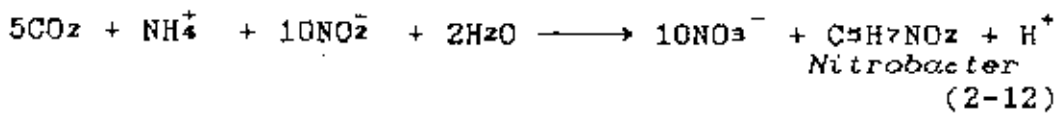
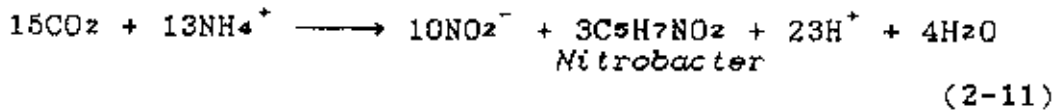
kemoautotrop. Menurut Kelly yang dikutip oleh Grady (1980), bukan berarti dalam prosesnya kedua mikroorganisma tersebut hanya menggunakan senyawa anorganik saja tetapi juga menggunakan senyawa organik. Namun jumlah senyawa organik yang digunakan lebih kecil jika dibandingkan dengan senyawa anorganik.

2.5.2 Hubungan Energi dan Sintesa

Energi yang dibebaskan pada reaksi oksidasi ammonium menjadi nitrit menurut beberapa penelitian diperkirakan antara 58 dan 84 kcal per mol ammonia (Renzo, 1978). Sedangkan reaksi oksidasi dari nitrit menjadi nitrat melepaskan energi antara 15,4 sampai 20,9 kcal per mol nitrit. Dengan demikian *Nitrosomonas* melepaskan energi per mol nitrogen yang dioksidasi lebih banyak dari pada *Nitrobacter*. Jika diasumsikan bahwa sintesa sel per unit energi yang diproduksi adalah sama, maka massa *Nitrosomonas* yang terbentuk lebih besar dari *Nitrobacter* per mol nitrogen yang dioksidasi.

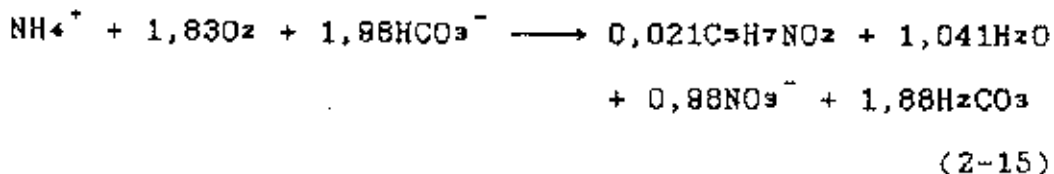
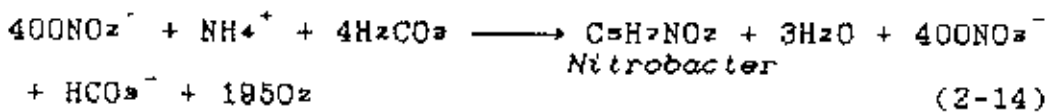
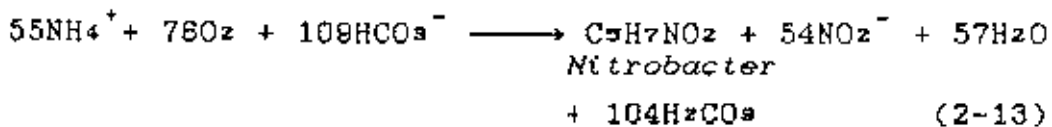
Telah disebutkan di atas, reaksi yang terjadi melepaskan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Formulasi sel bakteri diasumsikan sebagai $C_5H_7NO_2$, persamaan untuk pertumbuhan *Nitrosomonas* dan

Nitrobacter ditunjukkan dalam persamaan 2-11 dan persamaan 2-12.



Persamaan 2-5, 2-11 dan 2-12 menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan asam (H^+) dan membutuhkan CO_2 . Dalam kenyataannya reaksi ini berhubungan dengan sistem asam karbonat. Modifikasi persamaan 2-5, 2-11 dan 2-12 dalam sistem asam karbonat dapat dilihat pada tabel 2-1.

Persamaan reaksi Sintesa-oksidasi yang digunakan untuk perhitungan koefisien yield dan kebutuhan oksigen untuk *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* adalah sebagai berikut:



Dari persamaan pada tabel 2-1, jika proses sintesa diabaikan maka dapat dihitung 7,14 mg alkalinity sebagai CaCO_3 dihilangkan per mg ammonia yang dioksidasi. Pengaruh dari sintesa sel relatif kecil; dalam persamaan 2-15, 7,07 mg alkalinity per mg ammonia yang dioksidasi. Dengan adanya pengurangan alkalinity ini terjadi penurunan pH dalam proses nitrifikasi.

Secara teoritis, oksigen yang dibutuhkan untuk nitrifikasi dengan mengabaikan sintesa sel, berdasarkan persamaan reaksi 2-7 adalah 4,57 mg $\text{O}_2/\text{mg N-NH}_4$. Sintesa sel memberikan pengaruh terhadap oksigen yang dibutuhkan, oksigen yang dibutuhkan dapat dihitung dari persamaan reaksi 2-15, yaitu 4,33 mg $\text{O}_2/\text{mg N-NH}_4$.

Dari persamaan 2-13 dan 2-14 maka dapat diketahui bahwa koefisien yield (mg sel yang tumbuh per mg substrat yang dioksidasi) untuk *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* adalah 0,15 mg sel/mg N-NH_4^+ dan 0,02 mg sel/mg N-NO_2^- .

Tabel 2-1 Modifikasi Reaksi Oksidasi dan Pertumbuhan Dalam Nitrifikasi Yang Berhubungan Dengan Sistem Asam Carbonat.

Reaction	Equation	Equation No.
Oxidation - <u>Nitrosomonas</u>	$\text{NH}_4^+ + 1.5\text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	2. 5A
Oxidation - <u>Nitrobacter</u>	$\text{NO}_2^- + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$	2. 6
Oxidation - overall	$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	2. 7A
Synthesis - <u>Nitrosomonas</u>	$13\text{NH}_4^+ + 23\text{HCO}_3^- \rightarrow 8\text{H}_2\text{CO}_3 + 10\text{NO}_2^- + 3\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 19\text{H}_2\text{O}$	2. 11A
Synthesis - <u>Nitrobacter</u>	$\text{NH}_4^+ + 10\text{NO}_2^- + 4\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^- \rightarrow 10\text{NO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$	2. 12A

Sumber: De Renzo, D.J. 1978. Nitrogen Control and Phosphorus Removal in Sewage, halaman 32.

2.5.3 Kinetika Nitrifikasi

Proses nitrifikasi dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain konsentrasi ammonia, suhu, pH, oksigen terlarut dan yang tidak kalah pentingnya adalah kehadiran inhibitor terutama yang berasal dari golongan logam berat. Dalam beberapa hal, para peneliti telah menentukan

besarnya pengaruh-pengaruh tersebut dengan memberikan beberapa persamaan-persamaan tertentu yang dapat digunakan.

2.5.3.1 Pengaruh Konsentrasi Ammonia

Gambaran oksidasi ammonia dan nitrit dapat diperoleh dari persamaan kinetika pertumbuhan *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Pertumbuhan *Nitrosomonas* dipengaruhi oleh konsentrasi nitrogen ammonia, sedangkan pertumbuhan *Nitrobacter* dipengaruhi oleh konsentrasi nitrit. Persamaan kinetika yang ditemukan oleh Monod digunakan untuk menggambarkan kinetika pertumbuhan biologis *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*:

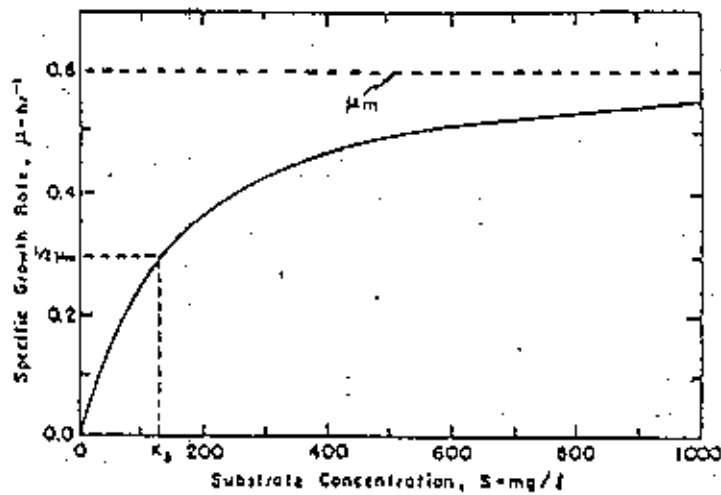
$$\mu = \hat{\mu} \frac{S}{K_s + S} \quad (2-18)$$

dimana: μ = kecepatan pertumbuhan spesifik mikroorganisma, hari⁻¹

$\hat{\mu}$ = kecepatan pertumbuhan maksimum spesifik mikroorganisma, hari⁻¹

K_s = konsentrasi substrat pada saat kecepatan pertumbuhan setengah dari maksimum, mg/l

S = konsentrasi substrat, mg/l



Gambar 2.3 Pengaruh Konsentrasi Substrat terhadap laju pertumbuhan bakteri Nitrifikasi

Sumber: Grady, 1980, *Biological Wastewater Treatment*, halaman 321.

2.5.3.2 Hubungan kecepatan pertumbuhan dengan kecepatan oksidasi

Kecepatan oksidasi ammonia berhubungan dengan kecepatan pertumbuhan *Nitrosomonas*, yaitu sebagai berikut:

$$q_N = \frac{\mu N}{Y_N} \quad \hat{q}_N = \frac{N}{K_N + N} \quad (2-17)$$

dimana: μ_N = kecepatan pertumbuhan *Nitrosomonas*, hari⁻¹

$\hat{\mu}_N$ = kecepatan pertumbuhan maksimum *Nitrosomonas*,
hari⁻¹

$\hat{q}_N = \frac{\hat{\mu}_N}{Y_N}$ = kecepatan maksimum oksidasi ammonia,
lb N-NH₄⁺ yang dioksidasi / lb VSS / hari

q_N = kecepatan oksidasi ammonia,
lb N-NH₄⁺ yang dioksidasi / lb VSS / hari

Y_N = koefisien yield organisme, lb *Nitrosomonas*
yang tumbuh (VSS) per N-NH₄⁺ yang diremove

N = konsentrasi N-NH₄⁺, mg/l

K_N = konsentrasi N-NH₄⁺ pada saat kecepatan per-
tumbuhan setengah dari maksimum, mg/l N-NH₄⁺

2.5.3.3 Pengaruh Temperatur

Temperatur memberikan pengaruh pada proses nitrifikasi. Pengaruh temperatur dalam proses nitrifikasi oleh Huang dan Hopson dapat dilihat pada gambar 2.4. Menurut Stankewich yang dikutip oleh Grady dan Lim (1980) pengaruh dari temperatur pada kecepatan pertumbuhan maksimum spesifik ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\hat{\mu}_T = \hat{\mu}_{15} \exp [K (T - 15)] \quad (2-18)$$

dimana: $\hat{\mu}_T$ = kecepatan pertumbuhan maksimum spesifik pada temperatur T, hari⁻¹

$\hat{\mu}_{15}$ = kecepatan pertumbuhan maksimum spesifik pada temperatur 15°C, hari⁻¹

K = 0,085 - 0,12 untuk *Nitrosomonas* dan 0,056 - 0,058 untuk *Nitrobacter*

Menurut Knowles et.al nilai K_s juga dipengaruhi oleh temperatur yang ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

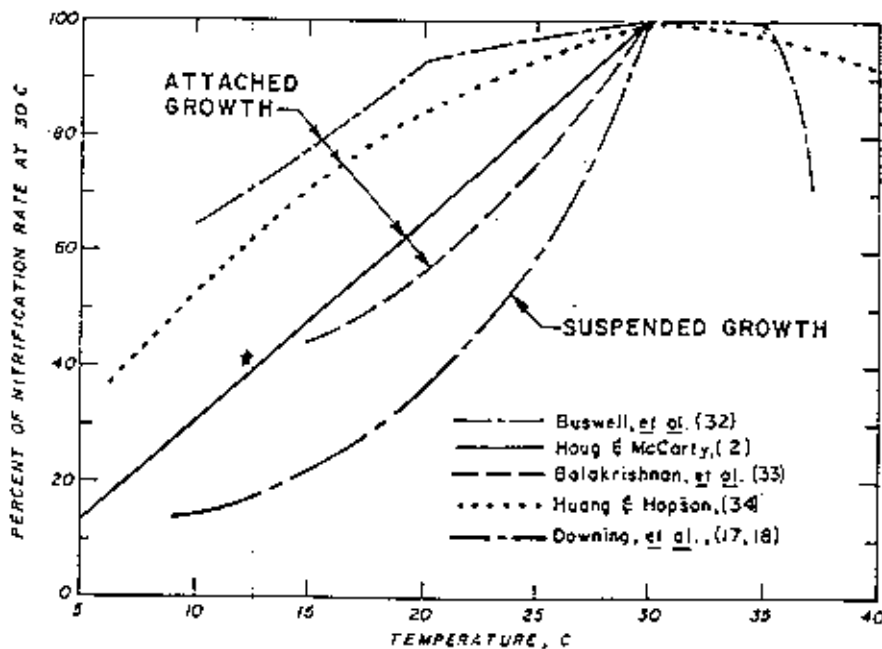
Untuk *Nitrosomonas*: $K_{ST} = K_{S15} \exp[0,118(T - 15)]$ (2-18)

Untuk *Nitrobacter*: $K_{ST} = K_{S15} \exp[0,148(T - 15)]$ (2-20)

dimana: K_{ST} = konsentrasi substrat pada saat kecepatan pertumbuhan setengah dari maksimum, pada temperatur T, mg/l

K_{S15} = konsentrasi substrat pada saat kecepatan pertumbuhan setengah dari maksimum, pada temperatur 15°C

K_{S15} = 0,405 untuk *Nitrosomonas* dan 0,625 untuk *Nitrobacter*



Gambar 2.4 Pengaruh Temperatur pada Nitrifikasi

Sumber: De Renzo, D.J. 1978. Nitrogen Control and Phosphorus Removal in Sewage. halaman 38.

2.5.3.4 Pengaruh Oksigen Terlarut

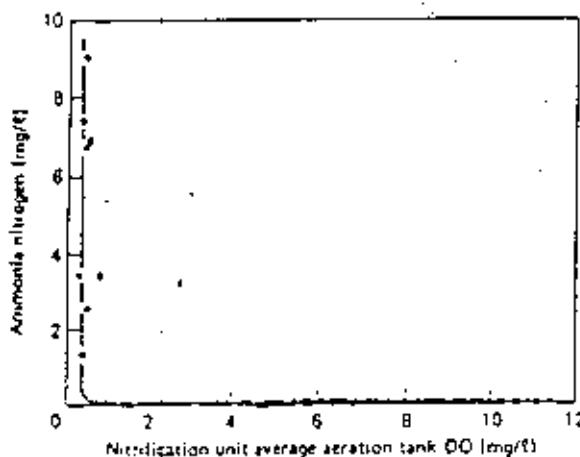
Konsentrasi oksigen terlarut memberikan pengaruh pada kecepatan pertumbuhan bakteri nitrifikasi dalam pengolahan biologis. Persamaan Monod yang digunakan untuk menggambarkan pengaruh oksigen terlarut, dengan mempertimbangkan oksigen merupakan substrat pembatas pertumbuhan:

$$\mu_N = \hat{\mu}_N \cdot \frac{DO}{K_{O_2} + DO} \quad (2-21)$$

dimana: DO = oksigen terlarut, mg/l

KO₂ = konsentrasi oksigen pada saat kecepatan pertumbuhan setengah dari maksimum, mg/l

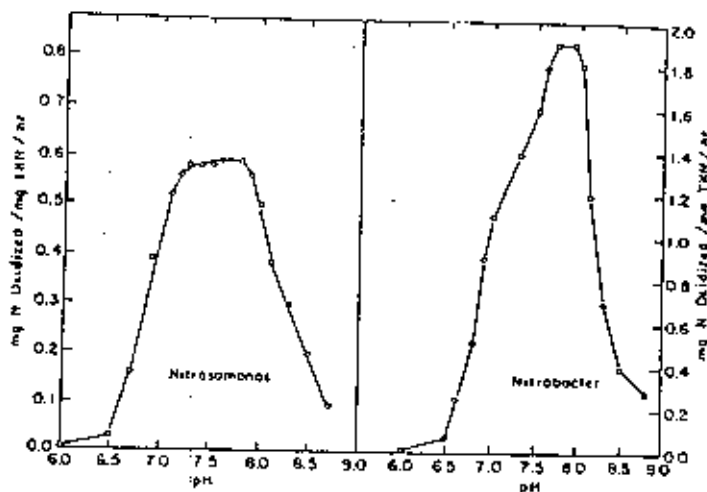
Mikroba nitrifikasi adalah mikroba aerobik, oleh karena itu ketersediaan oksigen terlarut sangat dibutuhkan untuk menunjang kehidupannya. Kepekaan mikroba nitrifikasi terhadap rendahnya kadar oksigen terlarut merupakan salah satu sebab mikroba ini sulit aktif dan berkembang biak. Wild et.al yang dikutip dari Benefield (1980) mengatakan bahwa nitrifikasi akan berjalan dengan baik jika oksigen terlarut minimum adalah lebih besar dari 1 mg/l. Dari gambar 2.5 dapat dilihat oksidasi ammonium berlangsung pada kondisi oksigen terlarut kira-kira 1 mg/l.



Gambar 2.5 Hubungan sisa Ammonia dan oksigen terlarut
Sumber: Benefield, 1980. *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, halaman 223.

2.5.3.5 Pengaruh pH

Konsentrasi ion hidrogen (pH) pada umumnya memberikan pengaruh yang besar pada kecepatan nitrifikasi. Pada gambar 2.6 digambarkan hubungan antara pH dengan kecepatan nitrifikasi. Dari gambar tersebut terlihat bahwa aktivitas *Nitrosomonas* mencapai titik optimum pada pH antara 7 - 8, sedang pada pH yang lebih rendah dari 7 akan menurun, kemudian berhenti pada pH 6. Sedang aktifitas *Nitrobacter* akan mencapai optimum pada pH antara 7,7 - 8 dan akan berhenti pada pH 6.



Gambar 2.6 Pengaruh pH Terhadap Aktivitas bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* pada proses Nitrifikasi

Sumber: Grady, 1980. *Biological Wastewater Treatment*, halaman 792.

Menurut Downing yang dikutip dari Renzo (1978) mengatakan bahwa nitrifikasi akan berlangsung dengan baik pada pH 7,2 - 8. Sedang untuk pH dibawah 7,2 maka pengaruhnya terhadap pertumbuhan maksimum bakteri nitrifikasi dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mu_N = \hat{\mu}_N (1 - 0,8333 (7,2 - \text{pH})) \quad (2-22)$$

Pada bagian terdahulu, pengaruh konsentrasi ammonia, temperatur, pH dan oksigen terlarut telah dijelaskan. Untuk Nitrifikasi, kombinasi kinetika untuk pertumbuhan bakteri nitrifikasi sebagai berikut:

$$\mu_N = \hat{\mu}_N \left[\frac{N}{K_N + N} \right] \left[\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right] (1 - 0,833(7,2 - \text{pH})) \quad (2-23)$$

dimana: $\hat{\mu}_N$ = kecepatan pertumbuhan maksimum spesifik pada T dan pH

Menurut Downing, pengaruh temperatur, pH dan oksigen terlarut dimana $\text{pH} < 7,2$ dan temperatur antara 8 dan 30°C terhadap kecepatan pertumbuhan *Nitrosomonas* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_N = & 0,47 \left[e^{0,098 (T - 15)} \right] \left[1 - 0,833 (7,2 - \text{pH}) \right] \\ & \times \left[\frac{N}{N + 10^{0,051T - 1,158}} \right] \left[\frac{DO}{DO + 1,3} \right] \end{aligned} \quad (2-24)$$

Kecepatan removal ammonia didasarkan pada persamaan-persamaan terdahulu dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$q_N = \frac{\mu}{Y_N} = \hat{q}_N \left[\frac{N}{K_N + N} \right] \left[\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right] (1 - 0.833(7.2 - pH))$$

(2-25)

2.5.3.6 Pengaruh Beban Hidrolik

Beban hidrolik adalah salah satu parameter yang mempengaruhi efisiensi oksidasi nitrogen. Beban hidrolik akan berpengaruh pada waktu detensi, yaitu lamanya air limbah berada di dalam reaktor. Waktu detensi yang terlalu pendek akan memberikan efisiensi nitrifikasi yang rendah. Hal ini terjadi karena pertumbuhan bakteri autotrof cukup lambat, sehingga pada waktu yang singkat tersebut hanya sebagian kecil saja senyawa amonia yang dapat dioksidasi.

2.5.3.7 Pengaruh Inhibitor Dalam Nitrifikasi

Hal lain yang tidak kalah pentingnya dalam nitrifikasi adalah kehadiran inhibitor, terutama yang berasal dari golongan logam berat dan senyawa-senyawa lain yang bersifat toksik terhadap bakteri nitrifikasi. Pada tabel 2.3 berikut dikemukakan senyawa-senyawa yang dapat menghambat nitrifikasi.

Tabel 2.3 Senyawa-senyawa inhibitor terhadap bakteri nitrifikasi

Compound	Conc. ^b mg/liter
Dodecylamine	<1
Aniline	<1
n-Methylaniline	<1
1-Naphthylamine	15
Ethylenediamine ^c	17
Naphylethylenediamine diHCl	23
2,2'-Bipyridine	23
p-Nitroaniline	31
p-Aminopropiophenone	43
Benidone diHCl	45
p-Phenylazoaniline	72
Hexamethylene diamine ^c	85
p-Nitrobenzaldehyde	87
Triethylamine	127
Ninhydrin	>100
Benzocaine	>100
Dimethylgloxime	140
Benzylamine	>100
Tannic acid	>150
Monoethanolamine ^c	>200

^a Data extracted from Hockenbury and Grady (26).

^b Concentration giving approximately 50% inhibition.

^c From the list of industrially significant chemicals (25).

Sumber: Grady, 1980. *Biological Wastewater Treatment*, halaman 795.

Menurut Beccari et.al (1979) yang dikutip dari Winkler (1981), kehadiran senyawa organik dapat memperlambat proses nitrifikasi. Ini dapat terjadi karena mikroorganisme heterotroph akan tumbuh pesat, sehingga saling berkompetisi dalam menggunakan oksigen terlarut.

Dalam sistem kombinasi karbon-nitrifikasi maupun dalam sistem separate stage nitrifikasi, kehadiran senyawa

organik dalam sistem pengolahan memungkinkan tumbuhnya bakteri heterotroph. Dalam situasi ini, yield bakteri heterotroph lebih besar dari autotroph. Karena mendominasi dalam media, bakteri heterotroph sangat membahayakan apabila kecepatan pertumbuhannya melebihi kecepatan pertumbuhan maksimum bakteri nitrifikasi. Jika ini terjadi maka pertumbuhan bakteri nitrifikasi akan berangsur-angsur berkurang. Kecepatan pertumbuhan maksimum bakteri autotroph berkisar 0,006/jam sampai dengan 0,035/jam. Dari angka tersebut terlihat bahwa pertumbuhan bakteri autotroph lebih lambat dibandingkan pertumbuhan bakteri heterotroph yang kecepatan pertumbuhan maksimumnya berkisar antara 0,15/jam sampai 0,5/jam.

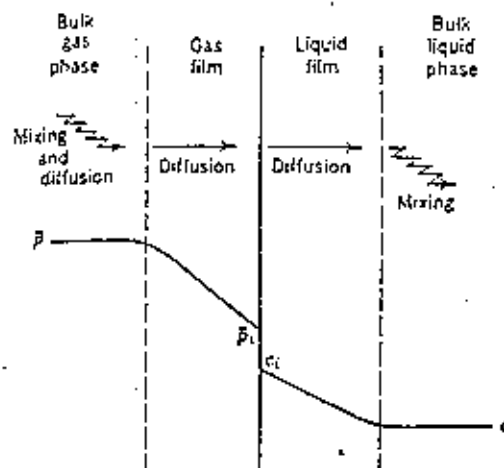
Pada konsentrasi tertentu senyawa Nitrogen ammonia sendiri dapat bersifat inhibitor pada bakteri nitrifikasi. Sherrad (1977) yang dikutip dari Blisse (1980) mengatakan bahwa senyawa ammonia dapat menghambat pertumbuhan bakteri pada konsentrasi di atas 150 mg/l. Sedangkan Loehr dan Srinath (1977), mengatakan bahwa pada konsentrasi 1000 mg/l senyawa ammonia baru bersifat toksik.

2.6 GAS TRANSFER

Semua zat terlarut cenderung untuk berdifusi melalui larutan sampai komposisi larutan menjadi homogen. Kecepatan dimana zat terlarut berdifusi melalui luas penampang media difusi yang seragam tergantung pada ukuran molekul dan bentuk dari pada molekul serta gradien konsentrasi dari zat terlarut. Proses difusi terjadi jika massa bergerak secara spontan dari daerah konsentrasi tinggi ke arah daerah konsentrasi rendah. Kecepatan difusi akan bertambah jika beda konsentrasi zat yang berdifusi pada dua area semakin besar.

Bila suatu cairan yang mengandung gas terlarut dikontakkan dengan udara maka pada kondisi tertentu akan terjadi kesetimbangan yang diikuti dengan perpindahan gas dari phase cair ke udara. Proses perpindahan massa pada konsep ini akan terjadi secara reversible.

Suatu sketsa mekanisme perpindahan gas ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Sketsa mekanisme perpindahan gas

Sumber: Rich. 1974. *Unit Operation for Sanitary Engineering*, halaman 172.

Pada gambar 2.7, P dan C merupakan tekanan parsial dan konsentrasi gas. Gambar ini menjelaskan perpindahan massa oksigen dari udara ke dalam air yang belum jenuh oleh oksigen. Melalui kombinasi proses pengadukan dan difusi, molekul oksigen dipindahkan dari phase gas ke permukaan bidang kontak dari gas film. Kemudian molekul-molekul oksigen berdifusi melintasi stagnant gas film ke permukaan kontak gas gas-cair (liquid-gas interface) disini molekul oksigen terlarut ke stagnant liquid film ke bidang batas liquid film ke bulk liquid phase, dari sini oksigen terlarut ditransportasikan.

Kinetika aerasi dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{dC}{dt} = KLa (C_s - C) \quad (2-26)$$

dimana: C_s = konsentrasi kejenuhan oksigen

C = konsentrasi oksigen aktual

KLa = koefisien overall gas transfer

Setelah diintegrasikan persamaan 2- 26 menjadi:

$$\ln \frac{C_s - C_t}{C_s - C_o} = -KLa \cdot t \quad (2-27)$$

dimana: C_o dan C_t adalah konsentrasi pada saat awal dan pada waktu t .

Aerasi dengan sistem bubling dilakukan dengan cara menginjeksikan udara langsung ke dalam suatu badan air. Di sini udara dilepaskan melalui alat distributor atau diffuser. Alat distributor pada aerasi sistem ini bisa berbentuk :

- Porous Ceramic Tube
- Pipa berlubang
- Jet diffuser
- dan lain-lain.

Banyak faktor yang mempengaruhi nilai koefisien perpindahan massa pada sistem bubling. Diantaranya adalah variabel-variabel utama meliputi :

- Diameter gelembung udara

- Kecepatan kenaikan gelembung udara
- Tenaga yang diperlukan untuk menginjeksikan udara
- Type distributor udara
- Dimensi bak aerasi
- Komponen-komponen penyebab reaksi kimia

Diameter gelembung udara mempengaruhi luas bidang kontak persatuan volume air dan koefisien perpindahan massa. Luasan bidang kontak sangat tergantung pada berapa besar jumlah dan ukuran dari gelembung udara yang disuplai. Ukuran diameter gelembung udara sangat tergantung kecepatan gas di dalam orifice dan diameter orifice. Semakin kecil diameter gelembung udara yang dihasilkan dalam satuan volume udara yang sama maka akan memberikan luas bidang kontak yang berbeda. Variasi diameter gelembung udara yang dihasilkan akan memberikan nilai koefisien perpindahan massa (k_L). Nilai k_L tergantung pada rigiditas dari gelembung udara yang dihasilkan dan kecepatan relatifnya dalam air.

B A B III

METODOLOGI PENELITIAN

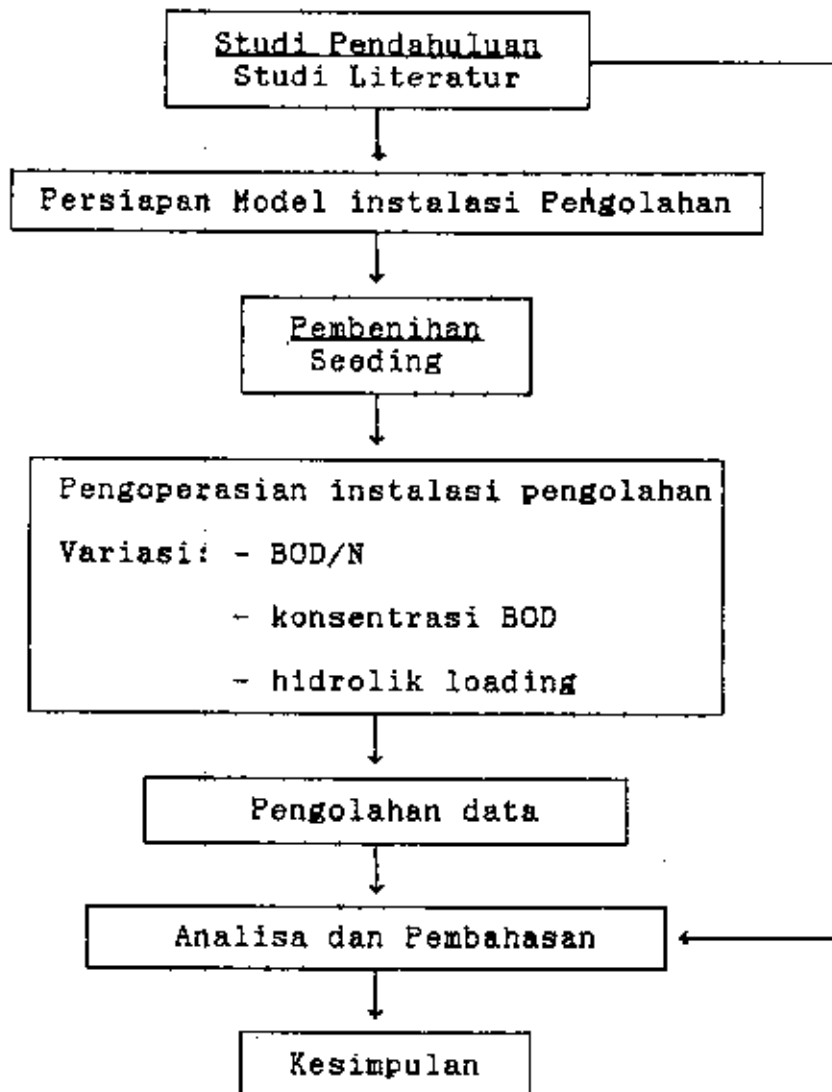
3.1 UMUM

Metodologi penelitian adalah tahapan-tahapan yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Metoda Penelitian disusun untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian, memperkecil tingkat kesalahan dan untuk mengevaluasi terhadap suatu yang telah dilaksanakan dalam penelitian.

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi studi pustaka, pembuatan dan persiapan model instalasi skala laboratorium, pembenihan, pengoperasian instalasi, hasil pengamatan dan pengolahan data, pembahasan serta kesimpulan. Pada bab ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan tersebut.

3.2 KERANGKA PENELITIAN

Kerangka penelitian adalah diagram alir yang dapat menggambarkan metoda penelitian yang dilakukan. Kerangka penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi pustaka terhadap permasalahan yang diteliti, baik mengenai teori, pendekatan matematis maupun

hasil-hasil percobaan para peneliti yang pernah dilakukan sebelumnya.

2. Persiapan model instalasi pengolahan yang meliputi pembuatan instalasi dan analisa ayakan terhadap media yang digunakan.
3. Pelaksanaan penelitian di laboratorium yang meliputi pembenihan dan pengoperasi instalasi dengan melakukan variasi terhadap BOD/N, konsentrasi BOD, dan hidraulik loading serta menganalisa parameter yang akan diteliti.
4. Pengolahan data hasil percobaan, dengan menggunakan metoda statistik, yaitu:
 - a. Statistik deskriptif, yaitu metoda untuk mengumpulkan, mengolah dan menyajikan data ke dalam bentuk tabel dan grafik. Metoda statistik yang digunakan untuk mengolah data adalah rata-rata hitung.
 - b. Statistik inferens, yaitu metoda statistik yang digunakan untuk menarik kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh.
5. Analisa dan pembahasan, merupakan tahapan menganalisa dan membahas data ataupun grafik yang diperoleh.

6. Kesimpulan, merupakan tahapan untuk menarik kesimpulan dari analisa dan pembahasan.

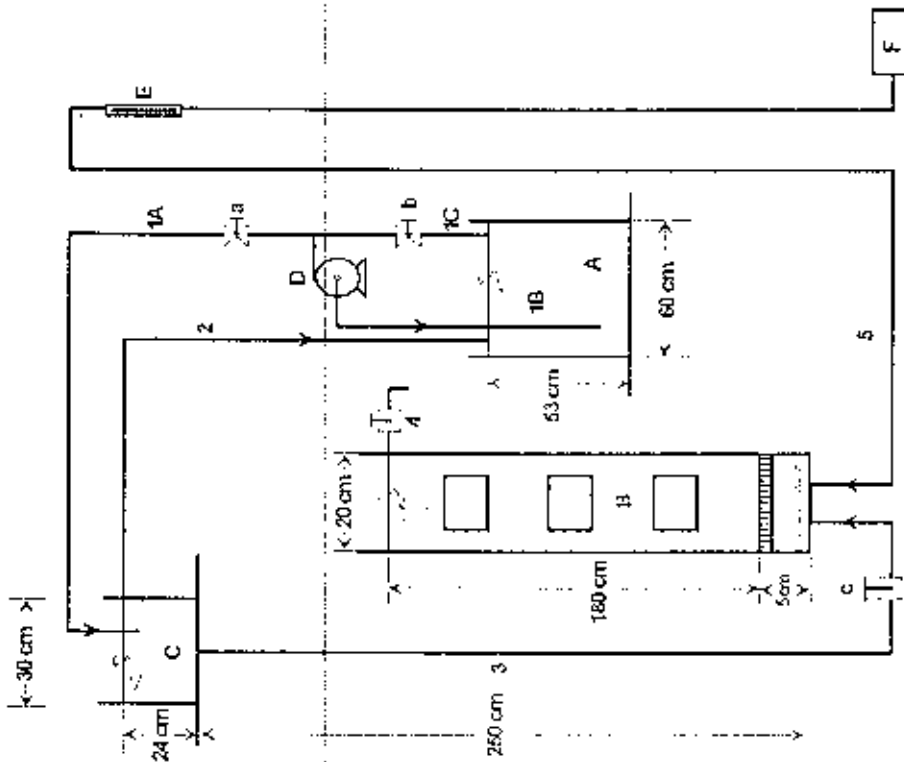
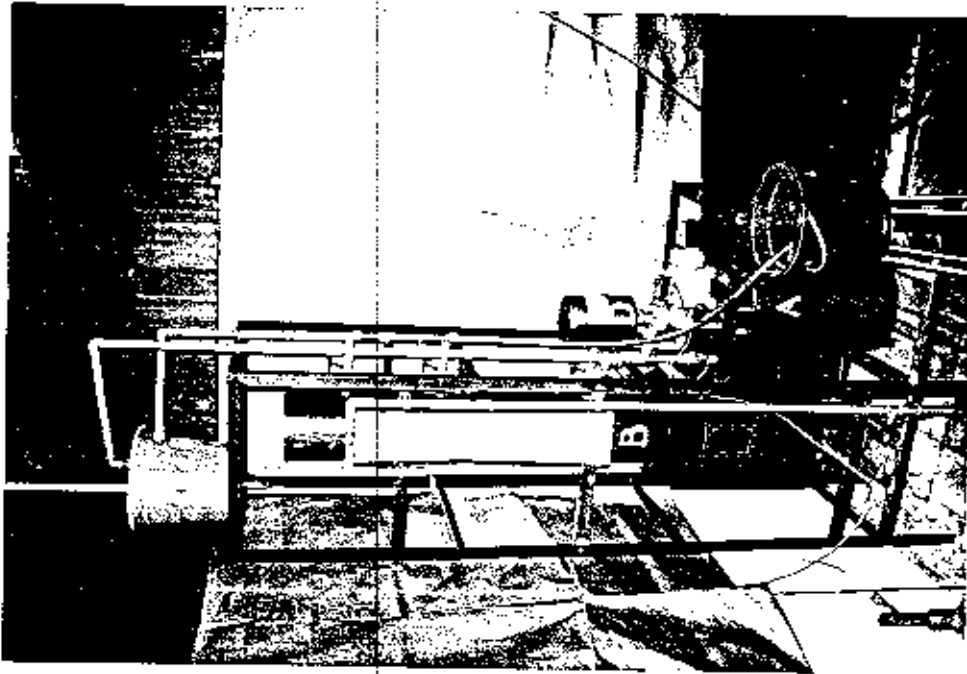
3.3 MODEL INSTALASI PENGOLAHAN

Model instalasi pengolahan yang dipakai untuk menurunkan senyawa nitrogen ammonia menggunakan reaktor yang berbentuk tabung yang diisi dengan media kerikil berdiameter 1 cm untuk tempat tumbuh bakteri. Pada bagian bawah reaktor biofilm ini terdapat perforated plate yang digunakan untuk meratakan aliran.

Kebutuhan udara untuk bakteri disuplai dari kompresor dimana pengaturan debit udaranya dilakukan dengan memasang rotameter. Sistem aerasi yang digunakan untuk mensuplai udara yaitu sistem bubbling, udara diinjeksikan langsung ke reaktor yang ada bercampur dengan air limbah buatan. Di sini udara dilepaskan melalui alat distributor atau diffuser yang berbentuk porous ceramic tube. Porous ceramic tube yang digunakan berbentuk lingkaran dan diletakkan di dasar tabung.

Operasional model instalasi ini yaitu air limbah buatan dari bak A dipompa ke bak C melalui pipa 1a yang berdiameter 3/4 inchi. Untuk menjaga ketinggian air agar tetap konstan, pada bak C terdapat pipa over flow (2) ke

bak A. Untuk membuang kelebihan air dari pipa discharge karena valve (a) dibuka maksimum digunakan pipa by pass (1c). Ini dimaksudkan agar pompa dapat bekerja sesuai dengan daya hisap minimumnya. Dari bak C air dialirkan secara gravitasi melalui pipa 3 yang berdiameter 3/4 inchi. Valve c digunakan untuk mengatur debit influen yang dikehendaki. Secara bersamaan udara dialirkan dari kompresor, melewati rotameter (E) untuk mengukur debit dan mengatur debit udara yang masuk. Kalibrasi rotameter dapat dilihat pada lampiran. Udara dan air secara searah (co current) dari bagian bawah reaktor kemudian melewati perforated plate yang berfungsi untuk pemeratakan aliran air dan udara melewati media kerikil. Effluen air limbah yang diolah kemudian keluar melalui pipa 4. Model instalasi pengolahan skala laboratorium ini dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Model instalasi pengolahan skala laboratorium

Keterangan gambar 3.2:

- A : Bak pencampuran air limbah buatan
- B : Reaktor biofilm
- C : Bak tempat menampung air limbah yang dipompa dari A
- D : Pompa
- E : Rotameter
- F : Kompresor
- 1a: pipa discharge 3/4"
- 1b: pipa suction 3/4"
- 1c: pipa bypass 3/4"
- 2 : pipa overflow 3/4"
- 3 : pipa influen 3/4"
- 5 : saluran udara 3/8"

Karakteristik instalasi pengolahan skala laboratorium dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Karakteristik instalasi pengolahan

I. KARAKTERISTIK BAHAN		
1. Bahan reaktor		PVC
2. Bahan bak feeding/makanan		plastik
3. Media bakteri		kerikil
4. Diameter media		1 cm
II. KARAKTERISTIK DIMENSIONAL		
1. Diameter reaktor		20 cm
2. Tinggi reaktor		200 cm
3. Tinggi media		180 cm

3.4 KOMPOSISI AIR LIMBAH YANG DIOLAH

Air buangan yang digunakan adalah air limbah buatan yang komposisinya disesuaikan dengan air limbah domestik. Sumber organik karbon digunakan glukosa, nitrogen dari $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ dan fosfor dari KH_2PO_4 . Sedangkan nutrisi-nutrientnya digunakan $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan FeCl_3 yang tujuannya untuk menunjang pertumbuhan mikroorganisme. Komposisi air limbah yang diolah dapat dilihat pada

tabel berikut.

Tabel 3.2 Komposisi Air Limbah Yang Diolah

BOD/N	Konsentrasi BOD (mg/l)	Konsentrasi N (mg/l)
100:50	200	100
	350	175
	500	250
100:20	200	40
	350	70
	500	100
100:10	200	20
	350	35
	500	50
100:5	200	10
	350	17,5
	500	25

3.5 PELAKSANAAN PENELITIAN

3.5.1 Seeding (Pembenihan)

Tujuan dari proses seeding ini adalah untuk membenihkan suatu populasi mikroorganisme agar dapat membentuk suatu lapisan biofilm sehingga mampu mengoksidasi kandungan nitrogen ammonia yang terdapat dalam air limbah buatan yang diolah. Proses ini merupakan proses pembibitan sehingga makanan dan kondisi lingkungan hidup mikroorganisme perlu diperhatikan. Pada proses seeding mikroorganisme memerlukan nutrien organik maupun anorganik yang memadai.

3. Oksigen Terlarut (DO) effluen > 2 mg/L

TABEL 3.3 KONDISI OPERASIONAL REAKTOR

BODIN	Konsentrasi BOD (mg/l)	Konsentrasi NH ₄ -N (mg/l)	Membran Loading (m ³ /m ² ·hari)	DO ₂ (mg/det)
2	200	100	5	1.85
2	350	175	5	1.85
2	500	250	5	1.85
5	200	40	5	1.85
5	350	70	5	1.85
5	500	100	5	1.85
10	200	20	5	1.85
10	350	35	5	1.85
10	500	50	5	1.85
20	200	10	5	1.85
20	350	17.5	5	1.85
20	500	25	5	1.85
2	200	100	7	2.60
2	350	175	7	2.60
2	500	250	7	2.60
5	200	40	7	2.60
5	350	70	7	2.60
5	500	100	7	2.60
10	200	20	7	2.60
10	350	35	7	2.60
10	500	50	7	2.60
20	200	10	7	2.60
20	350	17.5	7	2.60
20	500	25	7	2.60
2	200	100	10	3.70
2	350	175	10	3.70
2	500	250	10	3.70
5	200	40	10	3.70
5	350	70	10	3.70
5	500	100	10	3.70
10	200	20	10	3.70
10	350	35	10	3.70
10	500	50	10	3.70
20	200	10	10	3.70
20	350	17.5	10	3.70
20	500	25	10	3.70

3.5.3 Parameter Yang Dikontrol

Selama reaktor dioperasikan dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter yaitu:

1. pH

Proses nitrifikasi sangat peka terhadap perubahan pH, maka perlu dilakukan pengontrolan pH. Nilai pH didalam air limbah buatan adalah antara 7 - 8. Jika nilai pH kurang sesuai ditambahkan Na_2CO_3 . Pemeriksaan pH ini dilakukan dengan pH-meter.

2. Oksigen terlarut

Pengontrolan oksigen terlarut ini dilakukan setiap dua jam sekali dengan menggunakan botol Winkler. Debit udara yang dialirkan ke dalam reaktor untuk memenuhi kebutuhan udara mikroorganisme konstan yaitu 2.2 l/menit. ✓

3. Debit

Pengontrolan debit dilakukan untuk menjaga waktu detensi agar tetap konstan. Dilakukan dengan stop watch dan gelas ukur.

4. Temperatur

Temperatur reaktor pada percobaan laboratorium berkisar temperatur kamar. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termometer.

3.5.4 PARAMETER YANG DIANALISA

3.5.4.1 Pemeriksaan Permanganat Value (PV)

Pemeriksaan terhadap PV dilakukan untuk mengetahui keadaan steady state pada kondisi percobaan yang dilakukan sebelum dilakukan sampling, juga untuk mengetahui angka pengenceran terhadap pemeriksaan BOD. Pemeriksaan dilakukan sesuai dengan prosedur pada Standard Methode. Cara Kerja dapat dilihat dilampiran.

3.5.4.2 BOD (Biological Oxygen Demand)

BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikro-organisme untuk menstabilisasi substrat organik secara biokimia dalam keadaan aerobik. Pemeriksaan terhadap BOD ini dilakukan pada awal setiap variasi yang dilakukan untuk mengetahui konsentrasinya.

Reaksi penggunaan oksigen tersebut secara lengkap selama 20 hari dalam temperatur 20°C , namun berdasarkan percobaan diketahui bahwa prosentase terbesar dari total BOD terjadi dalam 5 hari, sehingga untuk memudahkan penetapan umumnya dilakukan pemeriksaan BODs (BOD 5 hari). Prosedur pemeriksaannya sesuai dengan Standard Methode. Cara kerja dapat dilihat pada lampiran.

3.5.4.3 Analisa Ammonium (NH_4^+)

Pemeriksaan terhadap ammonium dilakukan untuk mengetahui sejauh mana penurunan ammonium dalam proses ini. Pemeriksaan ammonium dilakukan dengan metoda Nessler. Sampel yang mengandung ammonium apabila ditambahkan garam signeit dan larutan nessler akan menghasilkan warna orange yang dapat dideteksi dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm. Hasil pembacaan skala absorbans ini diplotkan pada kurva standard ammonium. Cara kerja dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

3.5.4.4 Analisa Nitrit dan Nitrat

Pada proses nitrifikasi ammonium akan dioksidasi menjadi nitrit dan nitrat. Pemeriksaan terhadap nitrit dilakukan dengan menambahkan asam sulfanilat dan NED dihidrochlo-ride sehingga larutan akan berwarna merah muda. Pembacaan dilakukan dengan spektrofotometer panjang gelombang 540 nm. Sedangkan pemeriksaan terhadap nitrat dilakukan dengan menambahkan brucin acetat dan asam sulfat pekat sehingga larutan berwarna kuning. Warna yang timbul dideteksi pada panjang gelombang 400 nm. Cara kerja dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

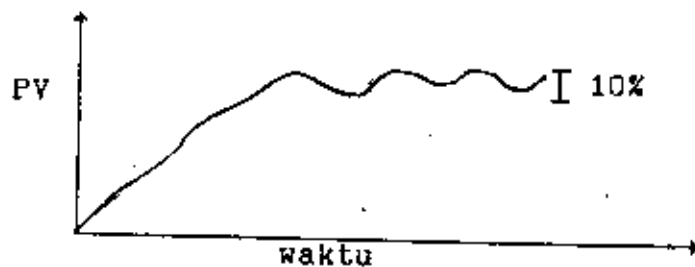
3.5.4.5 Analisa MLVSS (Mixed Liquor Suspended Solid)

Pemeriksaan VSS sebagai zat padat tersuspensi organik, dilakukan untuk mengetahui konsentrasi mikroorganisma yang terlepas dari permukaan media (sloughing) dalam effluen air limbah yang diolah. Pemeriksaan VSS dilakukan dengan cara pemisahan zat tersuspensi dari larutannya dengan menggunakan kertas saring serta pemanasan pada suhu 550°C . Cara kerja dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

3.6 METODA SAMPLING

Sampling dilakukan apabila kondisi operasional sudah mencapai *steady state*. Keadaan *steady state* tercapai bila kemampuan pengolahan dari sistem mempunyai nilai konstan. Keadaan tersebut diketahui berdasarkan pemeriksaan PV (permanganat value) pada influen dan effluen setiap dua jam sehingga diperoleh angka pengolahan yang konstan dengan fluktuasi removal kurang dari 10%.

Keadaan kondisi *stedy state* menggunakan parameter PV dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.3 Kurva keadaan steady state

3.7 ANALYTICAL QUALITY CONTROL

Analytical Quality Control (AQC) merupakan suatu kontrol analisa kuantitatif untuk menjamin ketepatan (akurasi) dan ketelitian (presisi) dari data hasil suatu pengukuran. Akurasi merupakan perbedaan antara nilai rata-rata beberapa hasil pengukuran dengan nilai pengukuran yang sebenarnya. Sedangkan presisi berhubungan dengan penyebaran data-data pengukuran yang dihasilkan terhadap nilai rata-rata pengukurannya, dinyatakan sebagai nilai standard deviasi.

AQC berfungsi untuk menghindari kesalahan-kesalahan, antara lain:

- Operasional, seperti kesalahan dalam melaksanakan prosedur analisa yang benar.
- Personal, seperti keterbatasan kondisi fisik seorang analis atau kebiasaan kerja yang ceroboh.

- Peralatan dan reagen, seperti kegagalan peralatan mencapai keseimbangan dan kemurnian zat kimia yang ada.

Ada dua jenis AQC, yaitu eksternal AQC yang bertujuan untuk melihat ketelitian dan ketepatan analisa antar laboratorium dan internal AQC yang bertujuan untuk mengetahui ketelitian dan ketepatan seorang analis. Pada penelitian ini dilakukan internal AQC untuk setiap parameter yang dianalisa. Analisa kontrol kualitas yang telah dilakukan di laboratorium secara lengkap ada pada lampiran.

B A B IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 UMUM

Pada bab ini disajikan hasil penelitian dan analisa terhadap data yang diperoleh pada penelitian yang telah dilaksanakan, yang menyangkut:

- Pengaruh perbandingan BOD/N terhadap removal $N-NH_4^+$
- Pengaruh konsentrasi BOD terhadap removal $N-NH_4^+$
- Pengaruh hidrolis loading terhadap removal $N-NH_4^+$.

Data hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik kemudian dilakukan pembahasan terhadap pengaruh perbandingan BOD/N, konsentrasi BOD dan hidrolis loading terhadap removal $N-NH_4^+$. Sedangkan analisa oksigen terlarut dan MLVSS digunakan untuk menunjang data hasil penelitian dalam reaktor biofilm aerobik.

Proses nitrifikasi yang berlangsung dalam reaktor biofilm ini bersamaan dengan pengurangan senyawa organik karbon (combined carbon oxidation-nitrification process). Sehingga dalam hal ini konsentrasi influen dari air limbah buatan, baik itu konsentrasi BOD maupun $N-NH_4^+$ sangat mempengaruhi terjadinya removal $N-NH_4^+$.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dengan variasi terhadap parameter penelitian diketahui bahwa dalam reaktor terjadi proses nitrifikasi. Hal ini dapat diketahui dengan menurunnya konsentrasi N-NH_4^+ serta terbentuknya nitrit dan nitrat (NO_x) sebagai hasil konversi dari proses nitrifikasi. Akan tetapi penurunan konsentrasi N-NH_4^+ tidak semuanya karena proses nitrifikasi tetapi juga karena sebagian N-NH_4^+ digunakan untuk sintesa sel.

Removal N-NH_4^+ pada reaktor ini dengan hidrolis loading $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$ berkisar 69,74% sampai dengan 96,40%. Untuk hidrolis loading $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$, removal N-NH_4^+ berkisar antara 63,45% sampai dengan 83,33%. Sedang untuk hidrolis loading $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$, removal N-NH_4^+ berkisar antara 54,68% sampai dengan 68,85%. Removal N-NH_4^+ yang tertinggi dicapai pada hidrolis loading $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ dengan konsentrasi BOD influen 225,89 mg/l dan konsentrasi nitrogen 43,35 mg/l.

Variasi perbandingan BOD/N dan konsentrasi BOD yang dilakukan memberikan removal N-NH_4^+ yang bervariasi pula, hal ini berhubungan erat dengan kesempatan bagi bakteri yang berperan pada nitrifikasi untuk tumbuh dalam sistem pengolahan tersebut dalam persaingannya dengan bakteri heterotroph memperoleh oksigen untuk kelangsungan hidup.

Secara keseluruhan removal $N-NH_4^+$ yang baik berada pada variasi BOD/N 5-10 dan konsentrasi BOD 200-350 mg/l.

4.2 PENGARUH PERBANDINGAN BOD/N TERHADAP REMOVAL $N-NH_4^+$

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini di samping digunakan untuk penurunan kandungan organik karbon juga digunakan untuk penurunan kandungan nitrogen. Pada sistem ini bakteri heterotroph dan autotroph bekerja secara bersama-sama. Bakteri heterotroph merupakan mikroorganisme yang memperoleh energinya dari oksidasi organik karbon sedangkan bakteri autotroph memperoleh energinya dari oksidasi senyawa anorganik.

Variasi komposisi BOD:N:P yang digunakan pada penelitian ini adalah 100:50:1, 100:20:1, 100:10:1 dan 100:5:1 (BOD/N = 2, 5, 10 dan 20). Sedangkan konsentrasi substrat yang diberikan sebesar 200 mg/l, 350 mg/l dan 500 mg/l untuk mewakili konsentrasi substrat rendah, sedang dan tinggi. Removal $N-NH_4^+$ pada beberapa kondisi yang ada secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.1.

Pada setiap variasi BOD/N yang dilakukan, konsentrasi BOD tetap sedangkan konsentrasi nitrogen ammonia ($N-NH_4^+$) berubah-ubah. Dari grafik 4.1 sampai 4.3, dapat dilihat bahwa dari perbandingan BOD/N sama dengan 2 ke BOD/N sama

dengan 5 terjadi peningkatan removal, kemudian untuk BOD/N lebih besar dari 5 removal N-NH_4^+ menurun lagi.

Sehingga dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada konsentrasi BOD yang sama, perbandingan BOD/N sama dengan 20 (konsentrasi N-NH_4^+ rendah) belum tentu removal N-NH_4^+ lebih baik bila dibandingkan dengan BOD/N lebih kecil 20 (konsentrasi N-NH_4^+ tinggi). Hal ini dapat disebabkan pada perbandingan BOD/N yang tinggi, kecepatan mengoksidasi N-NH_4^+ tidak dapat maksimum karena konsentrasi N-NH_4^+ rendah sehingga kecepatan difusi ke dalam biofilm lebih lambat. Dengan semakin tinggi konsentrasi N-NH_4^+ maka difusi N-NH_4^+ ke dalam biofilm akan semakin cepat sehingga kecepatan mengoksidasi N-NH_4^+ dapat maksimum dan dapat meningkatkan removal N-NH_4^+ .

Menurut Sawyer yang dikutip oleh Renzo (1980), dengan rendahnya perbandingan BOD/N dapat meningkatkan kecepatan nitrifikasi. Akan tetapi untuk perbandingan BOD/N lebih kecil dari 3, sebaiknya digunakan sistem separate state nitrifikasi.

Dari hasil percobaan untuk perbandingan BOD/N sama dengan 2, removal N-NH_4^+ menurun. Hal ini dapat disebabkan karena konsentrasi N-NH_4^+ influen yang ada dalam air limbah terlalu tinggi sehingga antara beban yang

diberikan dengan kecepatan untuk mengoksidasi substrat tidak seimbang. Dengan demikian bertambahnya konsentrasi akan mengakibatkan effluen pengolahan air limbah makin bertambah buruk. Selain itu dapat juga disebabkan karena kecepatan difusi oksigen ke dalam biofilm tidak sebanding dengan kecepatan difusi $N-NH_4^+$.

Kecepatan difusi oksigen dan substrat ke dalam biofilm tergantung pada konsentrasi dalam phase cair dan kondisi aliran. Pada konsentrasi yang tinggi kecepatan difusi substrat semakin cepat. Sehingga dapat terjadi kecepatan difusi substrat lebih cepat dari pada kecepatan difusi oksigen untuk metabolisme aerobik dimana ketebalan slime yang aktif ditentukan oleh kedalaman penetrasi oksigen. Sehingga agar terjadi removal yang optimum selain dipengaruhi oleh kecepatan difusi substrat, kecepatan penggunaan substrat oleh mikroorganisma, juga dipengaruhi oleh kecepatan difusi oksigen.

Apabila kecepatan pertumbuhan bakteri mencapai maksimum, sehingga lapisan biofilm semakin tebal tidak berarti efisiensi pengolahan akan semakin baik, karena efisiensi pengolahan ditentukan juga oleh penetrasi oksigen. Penetrasi oksigen ke dalam biofilm ditentukan oleh koefisien difusi oksigen dalam film, konsentrasi oksigen

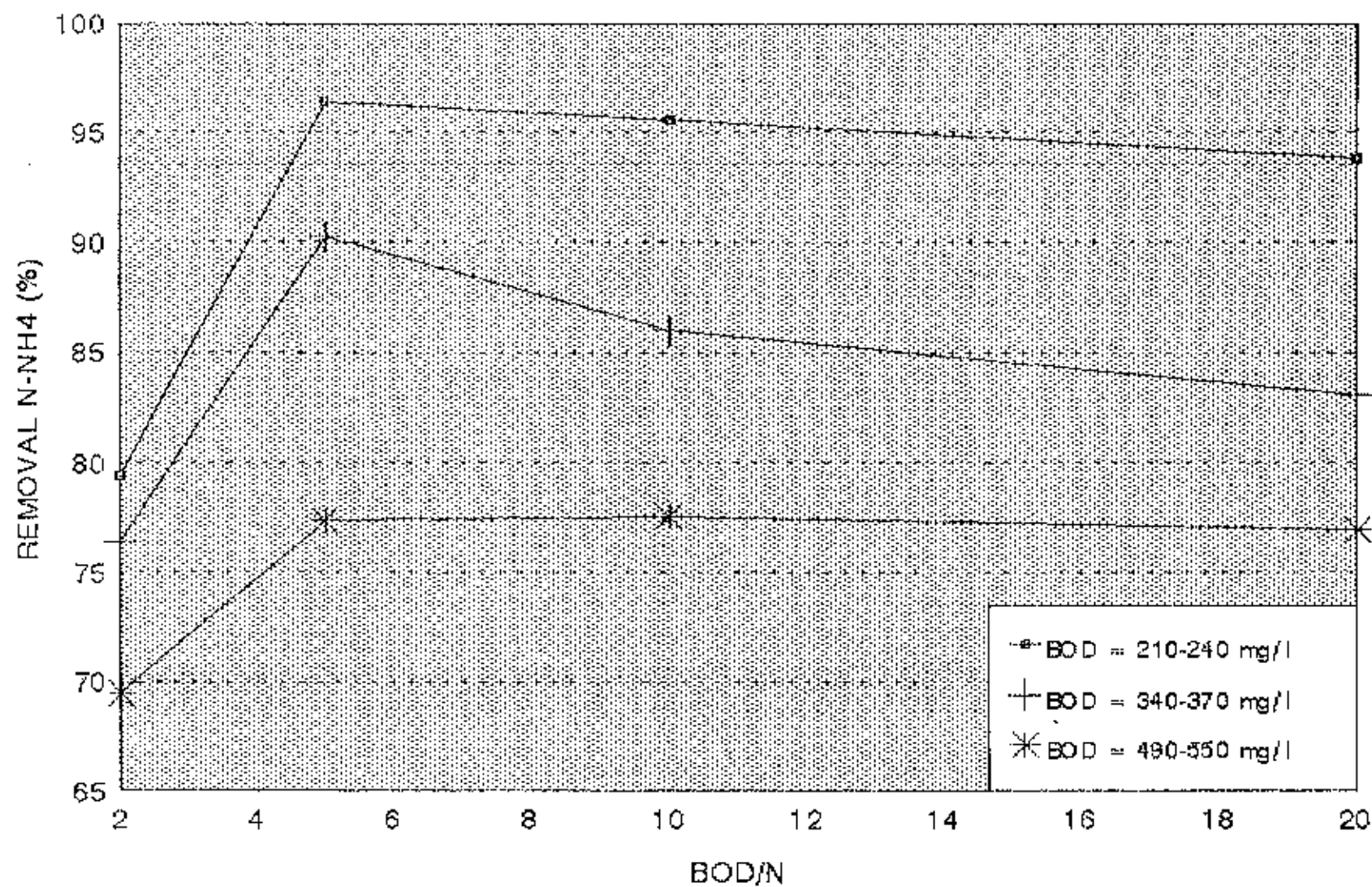
serta kecepatan penggunaan oksigen oleh mikroorganisme dan kecepatan aliran.

Dari hasil keseluruhan, removal N-NH_4^+ yang baik pada kondisi BOD/N antara 5 sampai 10 dan konsentrasi BOD antara 200 sampai 350 mg/l. Sedangkan removal tertinggi N-NH_4^+ adalah 96,40%, yaitu pada konsentrasi BOD influen sebesar 225,89 mg/l dengan konsentrasi N-NH_4^+ influen sebesar 43,35 mg/l dan pada hidrolis loading 5 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$.

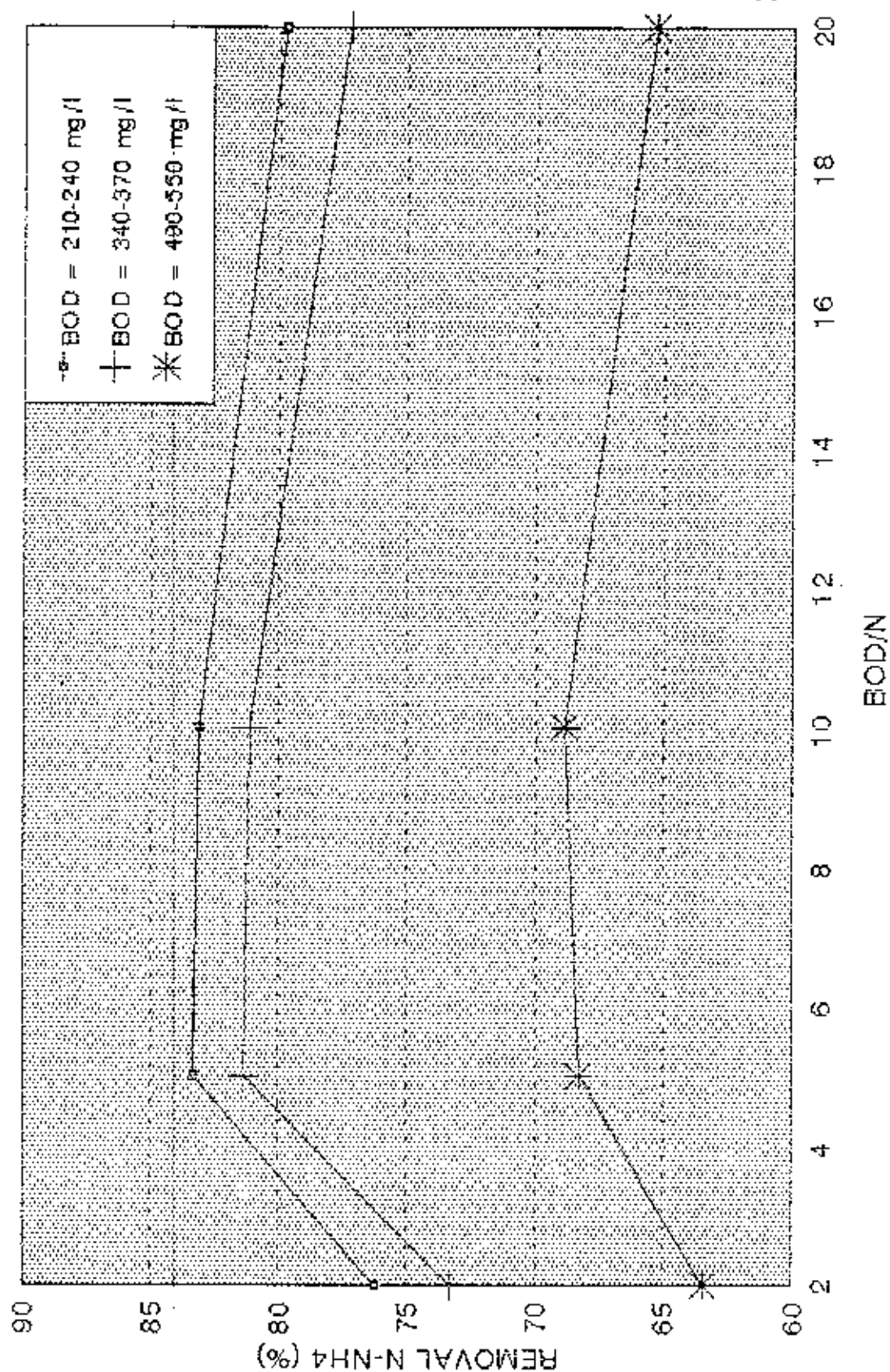
ABEL 4.1 PENGARUH BOD/N TERHADAP REMOVAL N-NH4

Hydraulic Loading (m ³ /m ² /hari)	Konsentrasi BOD influen (mg/l)	Konsentrasi N-NH4 influen (mg/l)	BOD/N	Konsentrasi N-NH4 effluen (mg/l)	Removal N-NH4 (%)	NH4-N (mg/l)
5.00	215.25	10.48	20.54	0.65	93.60	1.23
5.00	232.93	22.97	10.14	1.02	95.68	13.16
5.00	225.89	43.35	5.21	1.56	96.40	38.25
5.00	233.81	114.17	2.05	23.50	79.42	82.78
5.00	354.58	17.54	20.22	2.97	83.07	2.06
5.00	362.40	35.45	10.22	4.97	85.88	14.87
5.00	358.12	60.67	5.87	5.65	90.24	40.26
5.00	365.07	165.59	2.20	38.08	78.40	80.24
5.00	525.96	28.15	20.11	6.03	78.94	3.98
5.00	510.73	50.40	10.13	11.32	77.54	18.24
5.00	504.78	90.73	5.56	20.54	77.96	42.25
5.00	495.65	232.40	2.13	70.92	69.48	85.28
7.00	231.33	11.16	20.69	2.27	79.70	0.54
7.00	213.27	19.58	10.89	3.30	53.15	7.72
7.00	238.79	43.50	5.51	7.25	83.33	26.35
7.00	195.69	99.85	1.99	23.73	78.23	67.27
7.00	345.25	16.45	20.99	3.34	79.70	1.54
7.00	339.21	30.16	11.24	5.69	61.15	11.37
7.00	360.22	72.43	4.97	13.51	81.35	30.48
7.00	355.89	178.53	1.99	47.62	73.33	70.34
7.00	531.27	25.31	20.99	6.74	65.47	1.98
7.00	514.27	49.37	10.42	15.37	68.87	12.34
7.00	493.12	98.41	5.11	30.56	68.30	32.21
7.00	532.70	250.16	2.13	91.43	83.45	72.23
10.00	221.43	10.61	20.87	3.79	64.26	0.53
10.00	196.25	19.02	10.42	6.00	68.45	8.76
10.00	210.60	38.53	5.47	11.75	59.50	20.98
10.00	232.23	98.73	2.35	37.15	62.37	40.37
10.00	358.70	17.74	20.11	6.70	62.23	0.65
10.00	361.36	38.75	9.63	12.39	66.28	8.99
10.00	367.98	62.68	5.87	19.52	63.85	21.36
10.00	366.89	165.64	1.97	74.02	60.17	41.23
10.00	539.21	26.56	20.30	11.61	56.29	1.35
10.00	548.13	55.77	9.79	24.34	58.36	9.47
10.00	545.17	104.06	5.24	45.62	56.16	23.88
10.00	528.89	265.54	1.98	120.33	54.86	41.37

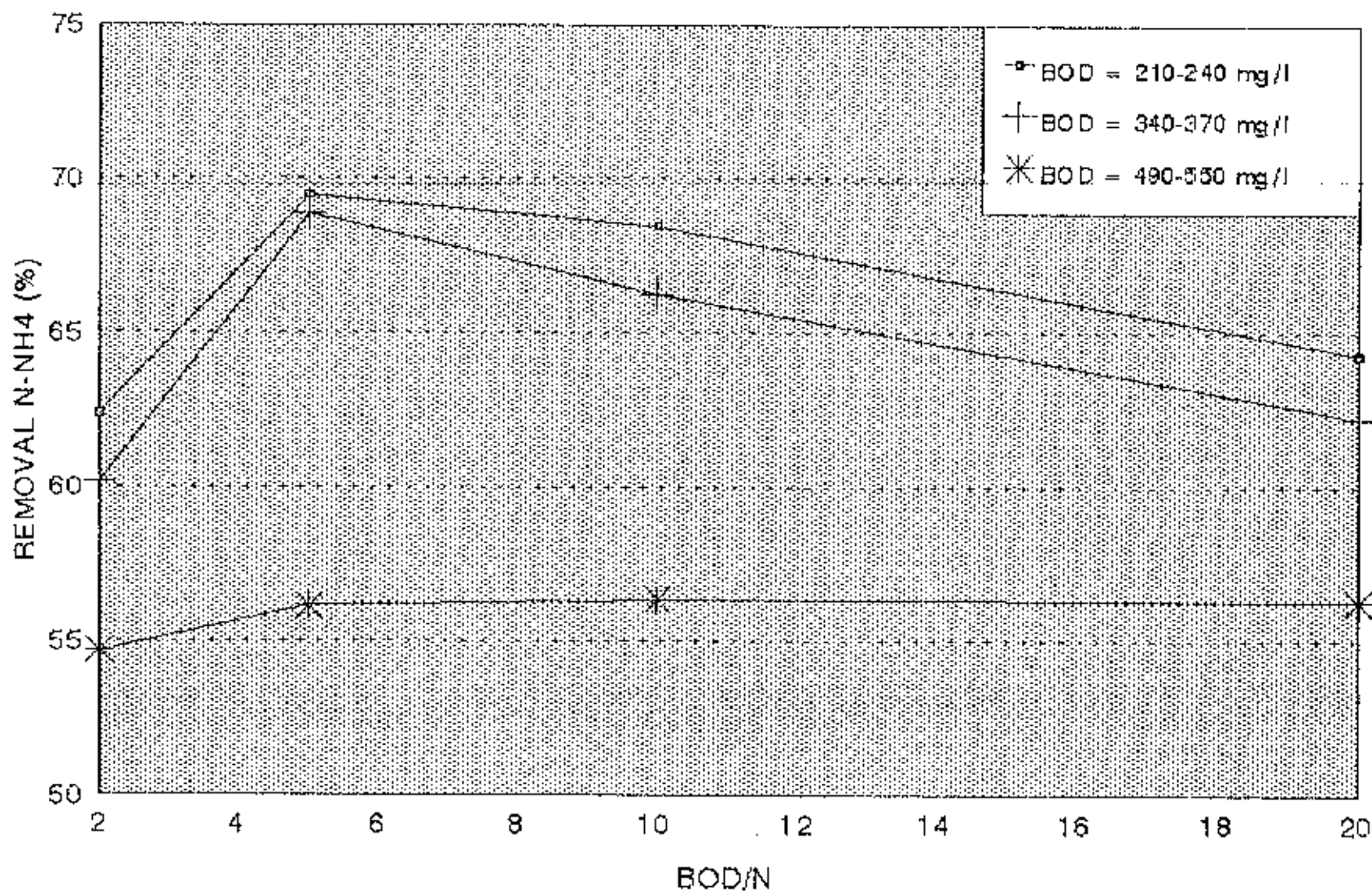
GAMBAR 4.1 HUBUNGAN ANTARA BOD/N dengan REMOVAL N-NH₄ PADA HIDROLIK LOADING 5 m³/(m².hari)



GAMBAR 4.2 HUBUNGAN ANTARA BOD/N DENGAN REMOVAL N-NH₄ PADA HIDROLIK LOADING 7 m³/(m² hari)



GAMBAR 4.3 HUBUNGAN ANTARA BOD/N dengan REMOVAL N-NH₄ PADA HIDROLIK LOADING 10 m³/(m².hari)



4.3 PENGARUH KONSENTRASI BOD TERHADAP REMOVAL $N-NH_4^+$

Removal $N-NH_4^+$ yang terjadi pada proses ini tidak hanya disebabkan oleh oksidasi bakteri nitrifikasi saja tetapi juga digunakan untuk sintesa sel oleh bakteri bakteri heterotroph. Apabila semakin besar konsentrasi substrat organik yang masuk mengakibatkan sintesa sel bertambah, sehingga dapat menyebabkan kebutuhan $N-NH_4^+$ untuk sintesa sel naik.

Dari rumus kimia dari sel yang diperkenalkan oleh Hoover dan Porges (1952), yaitu $C_5H_7NO_2$, menunjukkan bahwa sel mengandung unsur nitrogen sekitar 12%. Sedangkan menurut Grady dan Lim (1980) nitrogen yang terkandung dalam sel berkisar antara 12% sampai dengan 15%. Dan menurut Mc. Carty dan St. Amant (1969) menyatakan bahwa mikroorganisma cenderung menggunakan nitrogen yang berasal dari ammonium di dalam proses sintesa selnya.

Akan tetapi di faktor lain peningkatan konsentrasi organik dapat menyebabkan proses nitrifikasi terhambat. Konsentrasi BOD ataupun COD influen tidak secara langsung berpengaruh pada proses nitrifikasi, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas bakteri heterotroph yang menggunakan BOD atau COD tersebut.

Menurut Hanaki (1980), ada dua hipotesa penyebab aktivitas bakteri heterotroph ini dapat menghambat proses nitrifikasi. Hipotesa yang pertama dalam melakukan aktivitasnya mungkin bakteri heterotroph menghasilkan beberapa komponen yang menghambat oksidasi ammonia. Hipotesa yang kedua adalah kemungkinan adanya persaingan antara kedua bakteri untuk memperoleh oksigen dan substrat, karena jumlah bakteri heterotroph yang banyak akan menyelimuti kelompok bakteri nitrifikasi.

Dalam proses penyisihannya, senyawa organik yang masuk ke dalam reaktor biofilm akan dikonversikan menjadi CO_2 , H_2O dan biomassa. Penambahan konsentrasi BOD ke dalam reaktor akan memperbesar ketebalan slime, yang berarti jumlah biomassa yang tumbuh (bakteri heterotroph) akan semakin besar. Dengan bertambahnya lapisan slime ini maka penetrasi oksigen juga semakin terbatas. Sehingga dengan semakin tingginya konsentrasi BOD yang masuk akan mengurangi kesempatan bagi bakteri autotroph untuk tumbuh secara optimum. Hal ini terjadi karena bakteri autotroph harus berkompetisi dengan bakteri heterotroph untuk mendapatkan oksigen.

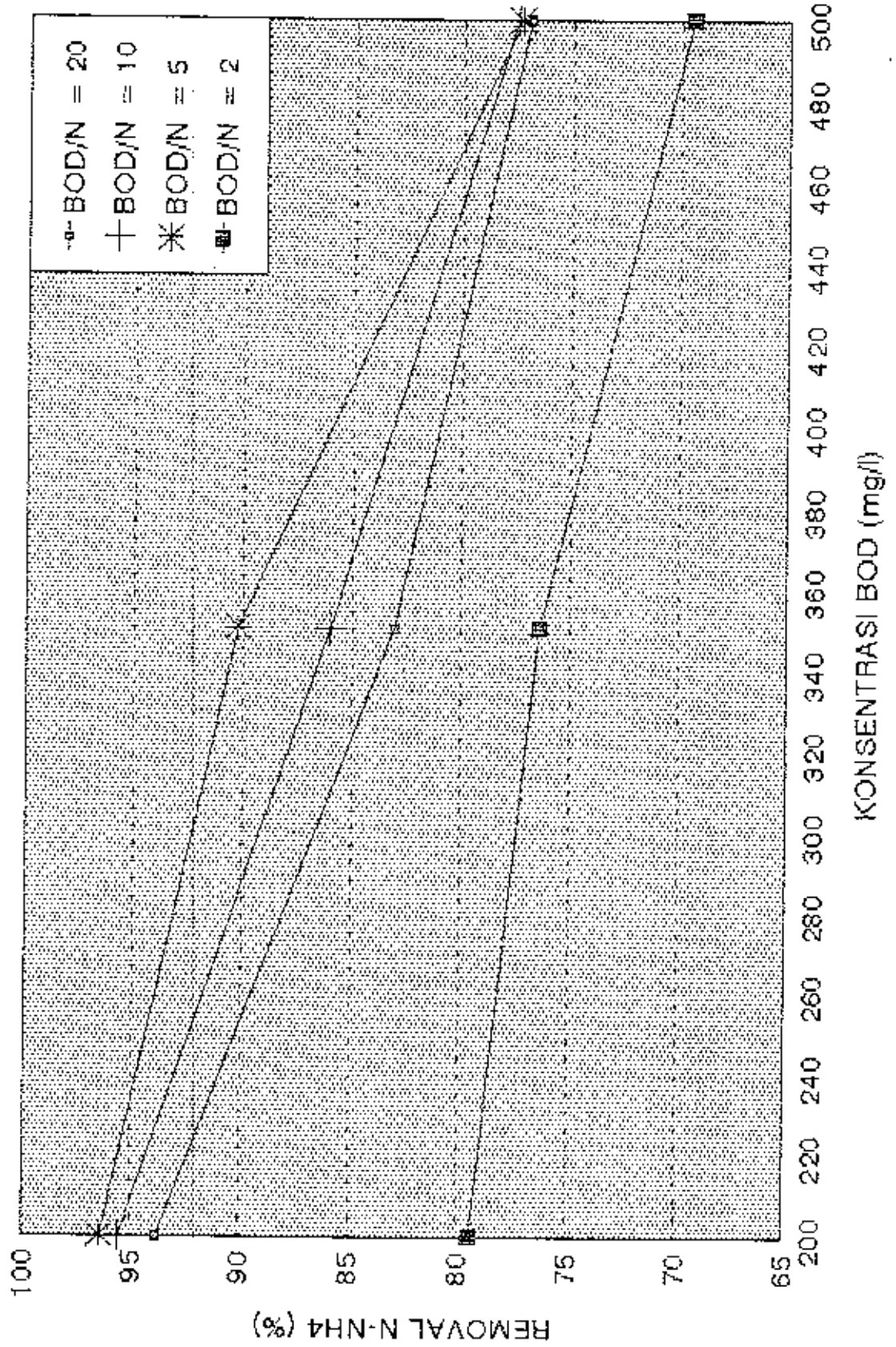
Dari grafik 4.4 sampai 4.6 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi BOD sebesar 200 mg/l, removal N-NH_4^+ lebih

tinggi di banding dengan konsentrasi BOD sebesar 350 mg/l dan 500 mg/l. Akan tetapi penurunan removal pada konsentrasi BOD sama dengan 350 mg/l sangat kecil, sedangkan pada konsentrasi BOD lebih besar dari 350 mg/l penurunan removal cukup besar.

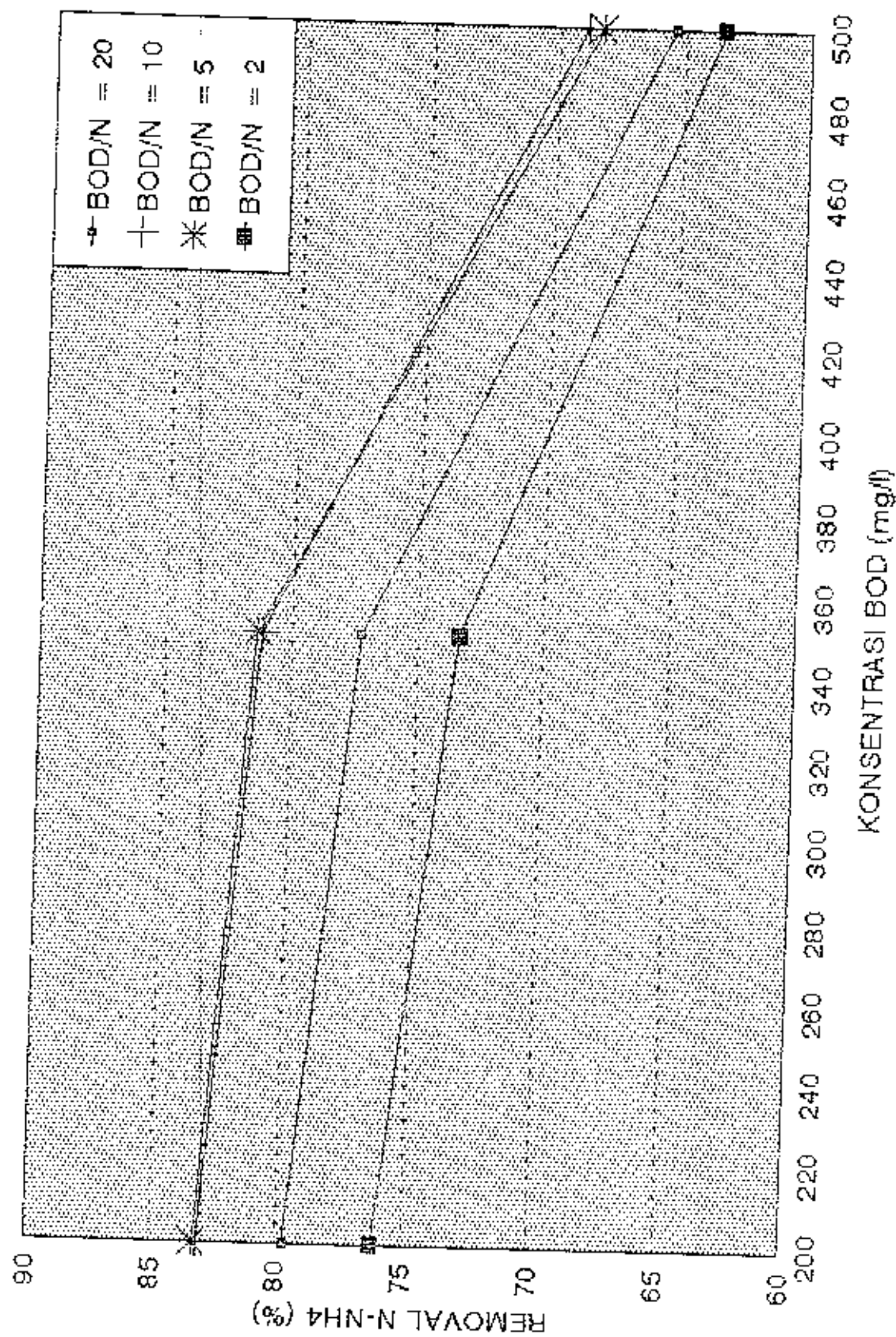
TABEL 4.2 PENGARUH KONSENTRASI BOD TERHADAP REMOVAL N-NH4

Pada Lama (hari/minggu)	Konsentrasi BOD dalam (mg/l)	Konsentrasi N-NH4 dalam (mg/l)	BOD/T	Konsentrasi N-NH4 dalam (mg/l)	Removal N-NH4 (%)
5.00	215.25	10.48	20.54	0.65	93.80
5.00	354.58	17.54	20.22	2.87	83.07
5.00	525.66	28.15	20.11	8.03	76.94
5.00	232.95	22.87	10.14	1.03	95.56
5.00	362.40	35.45	10.22	4.97	85.88
5.00	510.73	50.40	10.13	11.32	77.54
5.00	225.68	43.38	5.21	1.58	96.40
5.00	353.12	60.97	5.87	5.95	80.24
5.00	504.75	80.75	5.65	20.54	77.38
5.00	239.81	114.17	2.05	23.50	78.42
5.00	385.07	165.59	2.20	39.08	76.40
5.00	495.66	232.40	2.13	70.92	69.48
7.00	231.33	11.18	20.89	2.27	79.70
7.00	345.25	18.45	20.99	3.34	79.70
7.00	531.27	25.31	20.99	8.78	65.31
7.00	213.27	19.58	10.89	3.30	83.15
7.00	339.21	30.16	11.24	5.69	61.16
7.00	514.27	49.87	10.42	15.37	68.97
7.00	239.79	43.50	5.61	7.25	83.33
7.00	360.22	72.43	4.97	13.51	51.35
7.00	493.12	96.41	5.11	30.56	68.90
7.00	198.66	99.65	1.99	23.73	76.23
7.00	355.88	178.53	1.29	47.62	73.93
7.00	532.70	250.18	2.13	91.43	63.45
10.00	221.43	10.81	20.87	3.79	64.28
10.00	368.70	17.74	20.11	6.70	62.23
10.00	539.21	28.56	20.30	11.81	56.39
10.00	198.25	19.02	10.42	8.00	66.45
10.00	381.58	36.75	9.83	12.59	66.29
10.00	548.13	53.77	9.79	24.34	56.36
10.00	210.90	38.53	5.47	11.75	69.50
10.00	357.98	82.85	5.37	19.82	68.55
10.00	545.17	104.06	5.24	45.62	56.16
10.00	232.23	98.73	2.95	37.15	62.37
10.00	368.56	165.84	1.97	74.02	60.17
10.00	526.99	265.54	1.98	120.93	54.88

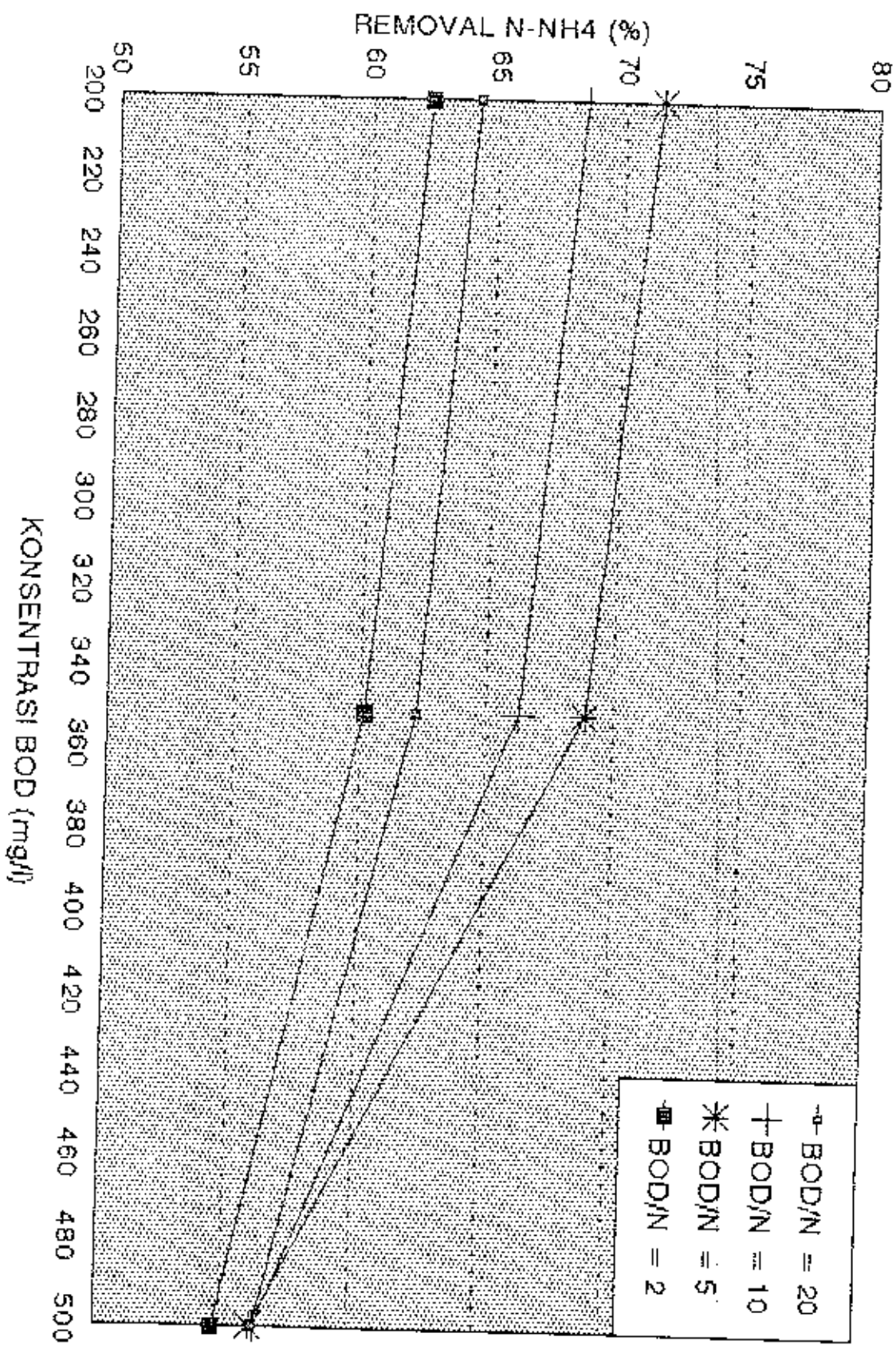
GAMBAR 4.4 HUBUNGAN ANTARA KONSENTRASI BOD DENGAN REMOVAL N-NH₄ PADA HIDROLIK LOADING 5 m³/(m².hari)



GAMBAR 4.5 HUBUNGAN ANTARA KONSENTRASI BOD DENGAN PEMOVAL N-NH₄ PADA HIDROLIK LOADING 7 m³/(m².hari)



GAMBAR 4.6 HUBUNGAN ANTARA KONSENTRASI BOD DENGAN REMOVAL N-NH₄ PADA HIDROLIK LOADING 10 mg/m²/hari



4.4 PENGARUH HIDROLIK LOADING TERHADAP REMOVAL $N-NH_4^+$

Dari gambar 4.7 sampai 4.10 menunjukkan bahwa semakin besar hidrolik loading, removal $N-NH_4^+$ semakin menurun. Hidrolik loading mempengaruhi lamanya waktu kontak antara air limbah yang diolah dengan mikroorganisme yang ada dalam reaktor. Hidrolik loading yang semakin besar berarti kecepatan aliran semakin besar maka waktu kontak antara bakteri dengan air limbah semakin pendek.

Hidrolik loading ini sangat mempengaruhi penetrasi substrat dan oksigen ke dalam lapisan biofilm. Apabila kecepatan aliran terlampau cepat mengakibatkan transfer udara ke dalam fase cair dan dari fase cair ke lapisan film berkurang karena waktu kontak yang lebih pendek. Serta transfer substrat ke dalam lapisan film juga berkurang.

Dengan berkurangnya substrat dan oksigen yang masuk ke dalam biofilm dapat menyebabkan pertumbuhan bakteri autotroph semakin lambat. Dengan demikian dalam waktu yang singkat tersebut hanya sebagian kecil ammonia saja yang dapat dioksidasi.

Selain itu meningkatnya hidrolik loading dapat meningkatkan shear force/gaya geser yang dapat mengakibatkan biofilm terkelupas dari media sehingga menurunkan efi-

siensi pengolahan nitrogen ammonia.

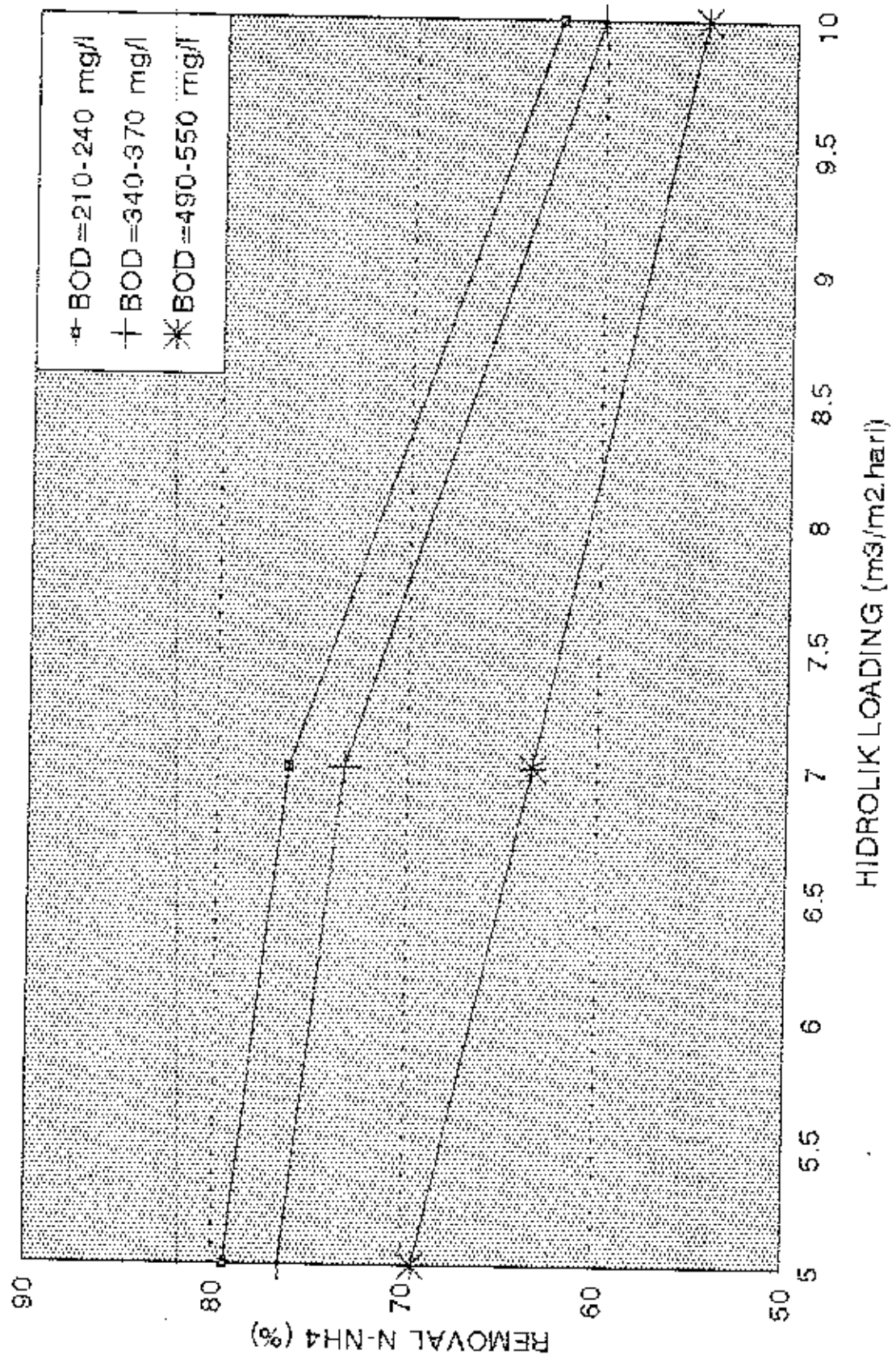
Dari data pada tabel 4.3 terlihat bahwa semakin besar hidrolik loading, konsentrasi oksigen terlarut dalam effluen semakin kecil dan konsentrasi VSS semakin besar. VSS (volatil suspended solid) merupakan suatu bentuk mikroorganisma yang tumbuh pada lapisan biofilm. Konsentrasi VSS yang ada pada effluen untuk hidrolik loading $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$ yaitu antara 10,31 mg/l sampai 15,46 mg/l, untuk Hidrolik loading $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$ yaitu antara 24,24 mg/l sampai 26,43 mg/l, untuk hidrolik loading $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$ yaitu antara 38,42 mg/l sampai 45,62 mg/l.

Dan dari tabel 4.3 tersebut dapat dilihat bahwa pada hidrolik loading $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$, removal N-NH_4^+ antara 69,74% sampai dengan 96,40%. Pada hidrolik loading $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$, removal N-NH_4^+ antara 63,45 sampai 83,33%. Dan pada hidrolik loading $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$, removal N-NH_4^+ antara 54,68 sampai dengan 68,85%.

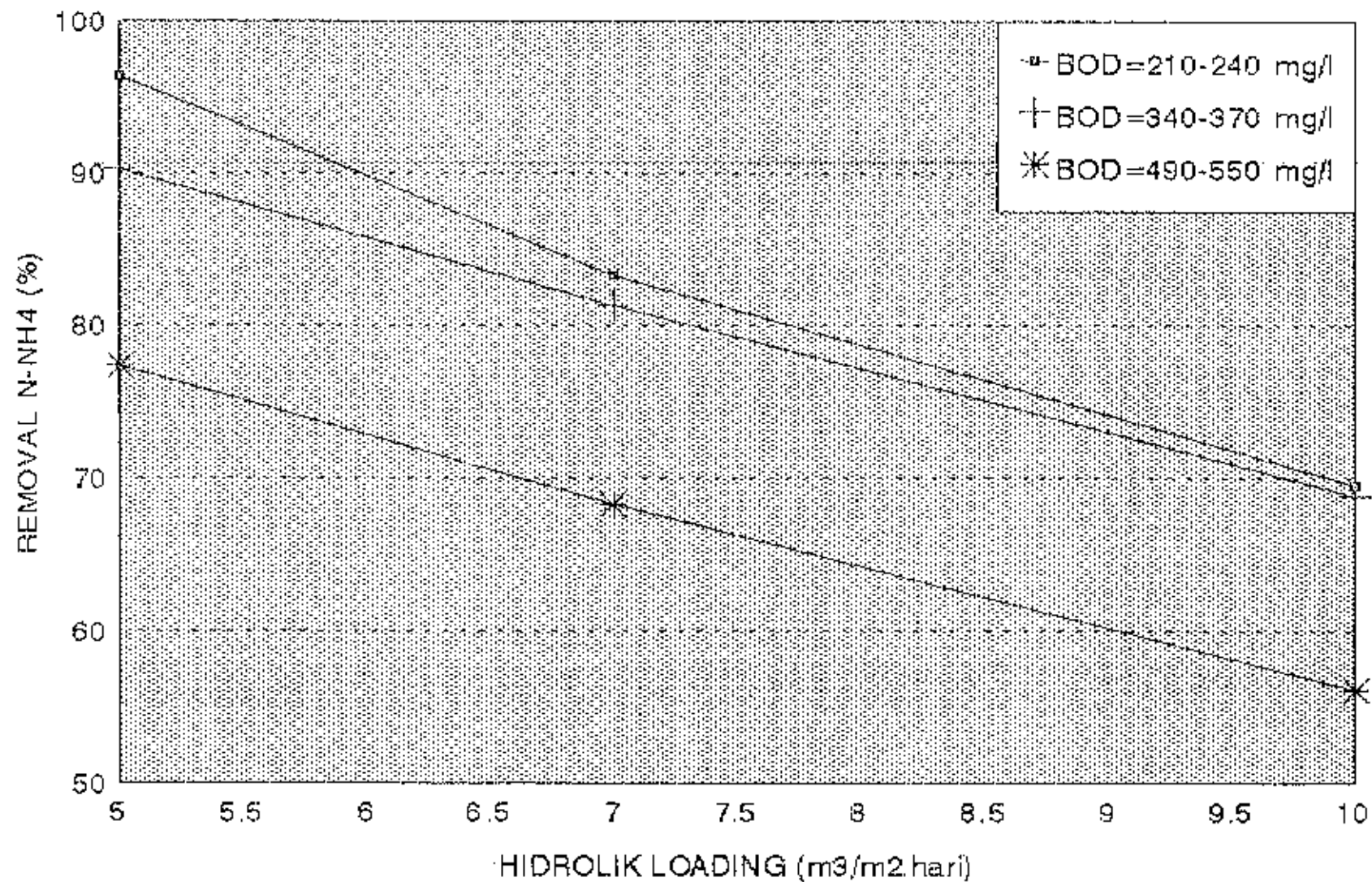
TABEL 4.3 PENGARUH HIDROLIK LOADING TERHADAP REMOVAL N-NH₄

Hidrolik Loading (m ³ /m ² /hari)	Konsentrasi BOD influen (mg/l)	Konsentrasi N-NH ₄ influen (mg/l)	BOD/N	Konsentrasi N-NH ₄ effluen (mg/l)	Removal N-NH ₄ (%)	BOD effluen (mg/l)	Konsentrasi VSS effluen (mg/l)
5.00	215.25	10.48	20.54	0.65	93.80	5.12	12.42
7.00	231.33	11.18	20.69	2.27	79.70	4.21	26.23
10.00	221.43	10.61	20.87	3.79	64.28	3.24	38.42
5.00	232.93	22.97	10.14	1.02	95.56	4.92	10.31
7.00	213.27	19.68	10.89	3.30	83.15	3.99	25.25
10.00	198.25	18.02	10.42	6.00	68.45	3.21	45.35
5.00	225.89	43.36	5.21	1.58	96.40	4.72	12.37
7.00	239.79	43.50	5.51	7.25	83.33	3.54	25.42
10.00	210.90	36.53	5.47	11.75	69.50	3.14	44.25
5.00	233.81	114.17	2.05	23.50	79.42	4.66	12.45
7.00	198.68	98.65	1.99	23.73	78.23	3.47	26.43
10.00	232.23	98.73	2.35	37.15	62.37	3.08	45.62
5.00	364.58	17.34	20.22	2.97	83.07	5.01	10.48
7.00	345.53	15.45	21.01	3.34	79.70	4.06	26.43
10.00	358.70	17.74	20.11	6.70	62.23	3.19	41.35
5.00	362.40	35.45	10.22	4.97	85.96	4.81	10.55
7.00	339.21	30.18	11.24	15.37	49.07	3.95	23.45
10.00	381.38	36.76	8.83	12.38	68.29	3.15	40.44
5.00	358.12	60.97	5.87	5.95	90.24	4.71	10.35
7.00	360.22	72.43	4.97	13.61	81.35	3.51	26.36
10.00	387.98	82.68	5.87	18.52	68.65	3.11	45.43
5.00	365.07	165.59	2.20	39.08	78.40	4.63	12.31
7.00	356.29	176.63	1.99	47.62	73.33	3.35	25.42
10.00	366.99	185.84	1.97	74.02	80.17	3.06	42.31
5.00	525.98	26.15	20.11	6.03	78.84	4.95	15.48
7.00	531.27	25.31	20.99	6.74	69.47	4.03	25.22
10.00	539.21	28.58	20.30	11.61	58.29	3.14	43.39
5.00	510.73	50.40	10.13	11.32	77.54	4.71	15.36
7.00	514.27	49.37	10.42	15.37	68.87	3.82	24.24
10.00	545.13	55.77	9.79	24.34	56.36	3.13	43.39
5.00	504.78	90.73	5.56	20.54	77.38	4.99	11.95
7.00	493.12	99.41	5.11	30.59	69.50	4.48	24.42
10.00	545.17	104.06	5.24	45.62	56.18	3.08	43.24
5.00	495.85	232.40	2.13	70.32	69.74	4.55	12.54
7.00	552.70	230.16	2.13	91.43	83.45	3.31	26.37
10.00	526.99	285.54	1.85	120.33	54.68	2.85	44.32

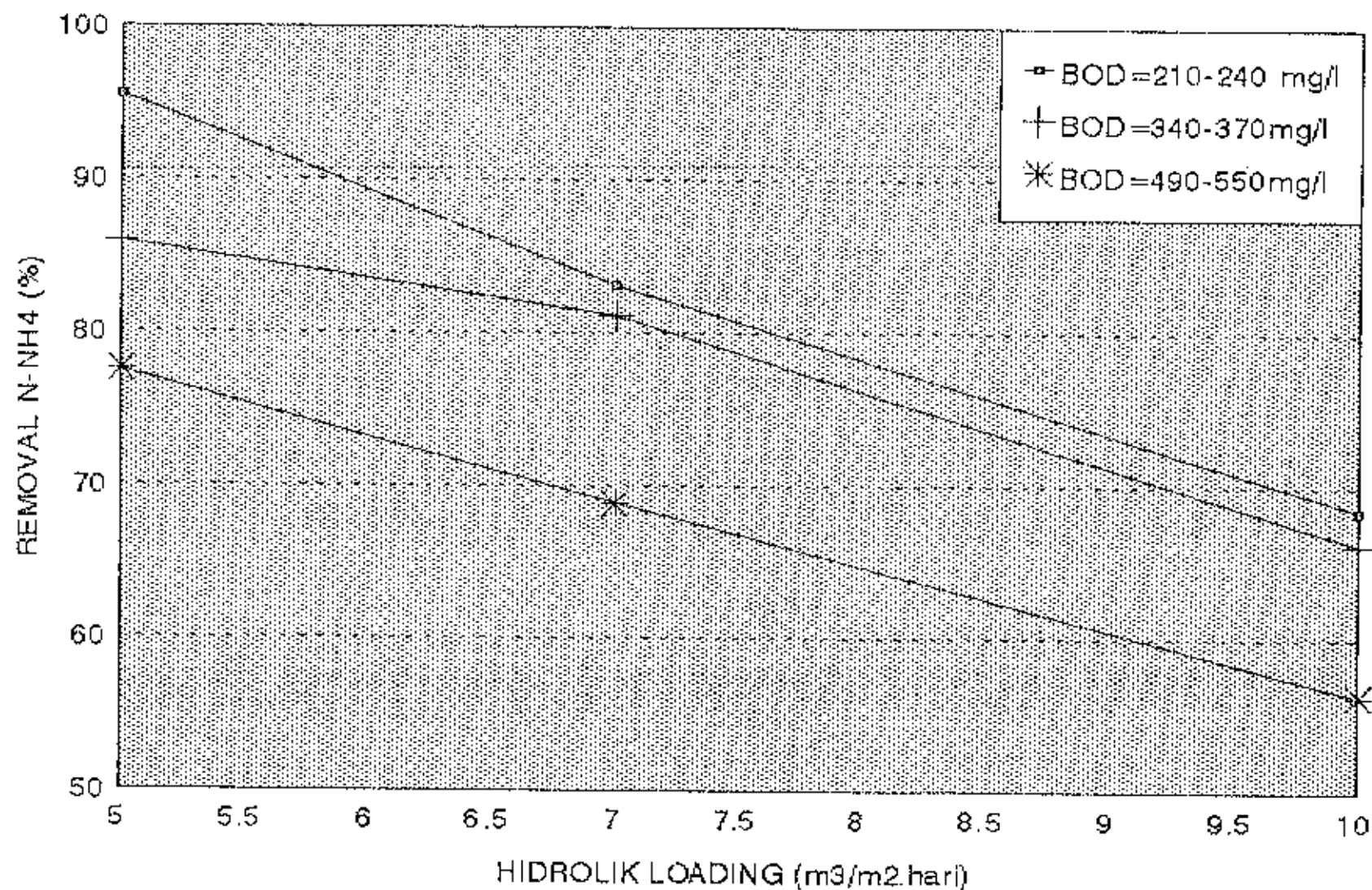
GAMBAR 4.7 HUBUNGAN ANTARA HIDROLIK LOADING DENGAN REMOVAL N-NH₄ PADA BOD/N = 2



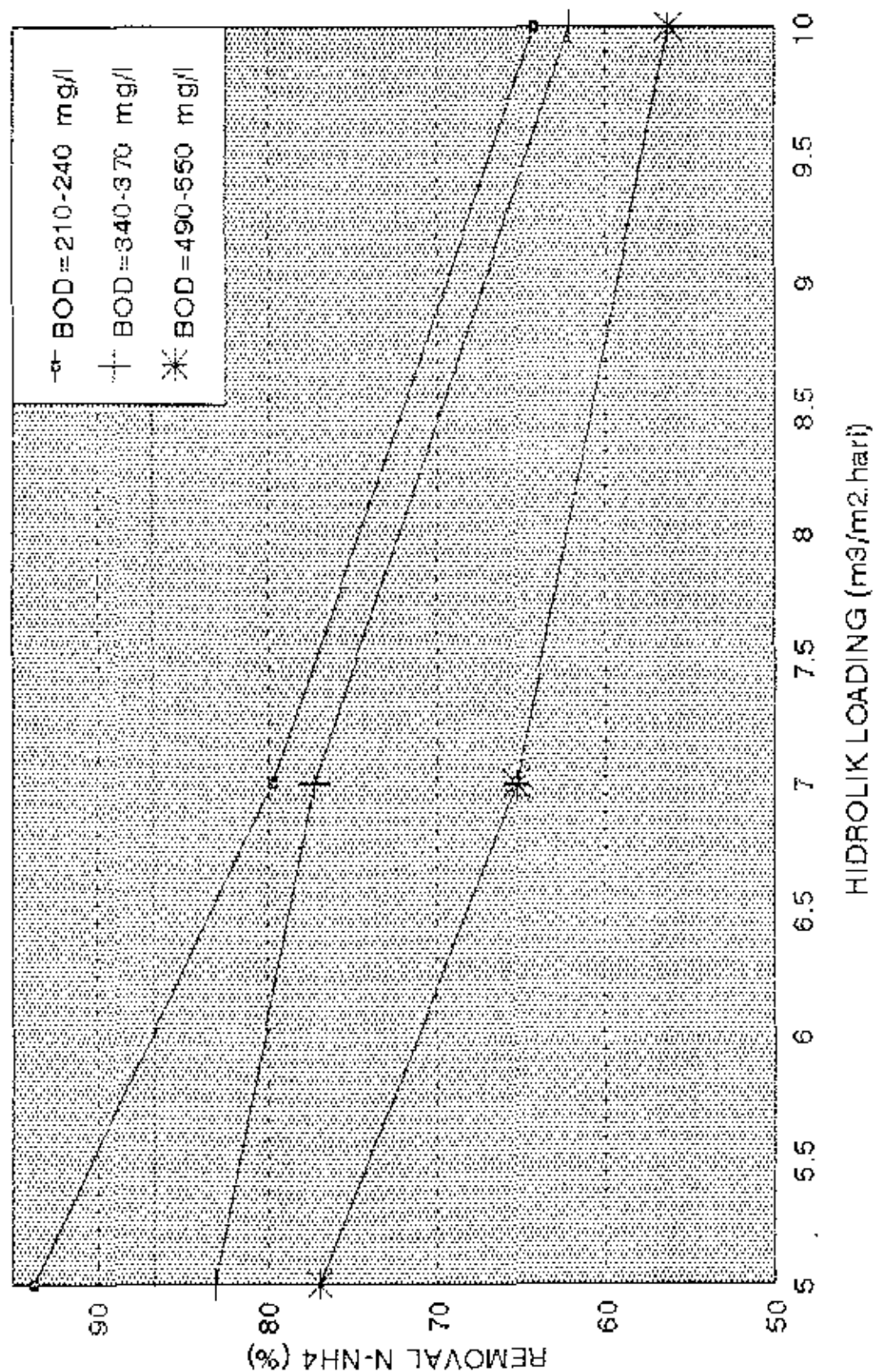
GAMBAR 4.8 HUBUNGAN ANTARA HIDROLIK LOADING dengan REMOVAL N-NH₄ PADA BOD/N = 5



GAMBAR 4.9 HUBUNGAN ANTARA HIDROLIK LOADING dengan REMOVAL N-NH₄ PADA BOD/N = 10



GAMBAR 4.10 HUBUNGAN ANTARA HIDROLIK LOADING DENGAN REMOVAL N-NH₄ PADA BOD/N = 20



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang meliputi 36 kondisi operasional, dengan memvariasikan BOD/N, konsentrasi BOD dan hidrolis loading, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari penelitian ini diperoleh hasil, removal N-NH_4^+ dipengaruhi oleh BOD/N, konsentrasi influen BOD dan hidrolis loading.
2. Removal tertinggi N-NH_4^+ yaitu 96,4%, terjadi pada hidrolis loading $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$ dan nilai BOD/N 5, dengan konsentrasi BOD dan N-NH_4^+ masing-masing sebesar 225,89 mg/l dan 43,35 mg/l.
3. Pada nilai BOD/N lebih besar dan lebih kecil dari 5 dicapai penurunan removal N-NH_4^+ , untuk BOD/N sama dengan 10 penurunan removal yang terjadi sangat kecil, sedangkan pada perbandingan BOD/N 20 dan lebih kecil dari 5 terjadi penurunan removal yang cukup besar.
4. Untuk konsentrasi BOD lebih besar dari 200 mg/l, removal N-NH_4^+ mengalami penurunan. Penurunan removal

ini pada konsentrasi BOD 350 mg/l tidak terlampau tajam sedangkan pada konsentrasi BOD lebih besar dari 350 mg/l terjadi penurunan removal yang cukup besar.

5. Pada hidrolis loading lebih besar dari $5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$, removal N-NH_4^+ mengalami penurunan, terutama untuk hidrolis loading lebih besar dari $7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hari})$.

5.2 SARAN

Penelitian ini masih kurang sempurna. Perlu dilakukan beberapa hal:

1. Penelitian dengan variasi debit udara sehingga dapat diketahui transfer oksigen yang optimum ke dalam lapisan film.
2. Penelitian dengan menggunakan media berdiameter lain ataupun media jenis lain sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap efisiensi proses nitrifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aleart, G. dan Sumestri. 1984. *Metodologi Penelitian Air*. Surabaya: Usaha Nasional.
2. American Public Health Association, American Water Work Association, Water Pollution Control Federation. 1985. *Standard Methode for The Examination and Water and Wastewater*.
3. Benefield, D. Larry and Randal, W. Clifford. 1980. *Biological Process Design for Wastewater treatment*. Englewood Cliffs, New York: Prentice Hall.
4. Culp, Gordon L. 1978. *Handbook of Advanced Wastewater Treatment*. Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series.
5. Denny, et.al. "Nitrification in Trickling Filters". *Water Pollution Control Federation*. Vol 58: 886-902.
6. De Renzo, D.J. 1978. *Nitrogen Control and Phosporus Removal in Sewage Treatment*. New Jersey: Park Ridge.
7. Eckenfelder, W. Wesley. 1966. *Industrial Water Pollution Control*. Tokyo: Mc. Graw Hill.

8. Faup, et.al. 1982. "Biological Nitrification in an Up Flow Fixed Bed Reactor (UFBR)". *Water Science Technology*. Vol 24: 785-810.
8. Gaudy, Anthony F., Elisabeth T. 1980. *Microbiology for Environmental Scientist and Engineers*. Auckland: Mc. Graw Hill.
10. Glenn, et.al. 1974. "Plastic Medium Trickling Filters for Biological Nitrification". *Water Polution Control Federation*. Vol 46: 937-946
11. Grady, Leslie and Lim, Henry C. 1980. *Biological Wastewater Treatment*. New York: Mercek Dekker Inc.
12. Hamner, Mark J. 1975. *Water and Wastewater Technology*. New York: John Willey and Sons Inc.
13. Hanaki. 1980. "Effect of The Kinetic of Heterotrophs on Nitrification in A Suspended Growth Reactor". *Water Research*. Vol 24: 289-296.
14. Lembaga Penelitian. 1983. *Petunjuk Pelaksanaan Penelitian Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*: ITS.
15. Metcalf and Eddy. 1979. *Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse*. New Delhi: Tata Mc. Graw Hill.
16. Rich, Linvil G. 1974. *Unit Operation of Sanitary Engineering*. New York: John Willey and Sons Inc.

17. Sawyer, Clair N and Mc Carty. 1978. Chemistry for Environmental Engineering. Mc Graw Hill Book Company.
18. Schroders, Edward D. 1977. Water and Wastewater Treatment. Tokyo: Mc. Graw Hill.
19. Suriawiria, Unus. 1977. Mikrobiologi Lingkungan. Program Pendidikan Teknik Penyehatan: ITB.

LAMPIRAN 1

PEMBUATAN SUBSTRAT

Misalkan BOD yang diinginkan = 500 mg/l

BOD:N:P = 100:5:1

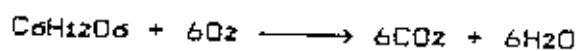
N yang diperlukan = $5/100 \times 500 \text{ mg/l} = 25 \text{ mg/l}$

P yang diperlukan = $1/100 \times 500 \text{ mg/l} = 5 \text{ mg/l}$

1. Glukosa ($C_6H_{12}O_6$)

BM Glukosa = $12 \times 6 + 1 \times 12 + 16 \times 6 = 180$

Reaksi:



1 mol $C_6H_{12}O_6$ 6 mol O_2

180 6 (32)

180 192

Jadi 1 mg Glukosa = $1,067 \times 0,75 = 0,8 \text{ mg BODs}$

Jumlah gula yang dibutuhkan = $500/0,8 = 468,60 \text{ mg/l}$

2. $(NH_4)_2CO_3$

BM = $14 \times 2 + 1 \times 8 + 12 \times 1 + 16 \times 3 = 96$

Berat $(NH_4)_2CO_3$ yang diperlukan untuk memperoleh berat

N 25 mg/l = $96/14 \times 25 \text{ mg/l} = 171,43 \text{ mg/l}$

3. KH_2PO_4

BM KH_2PO_4 = $39 \times 1 + 2 \times 1 + 31 \times 1 + 16 \times 4 = 136$

Berat KH_2PO_4 yang diperlukan untuk memperoleh berat P

5 mg/l adalah $136/31 \times 5 \text{ mg/l} = 21,94 \text{ mg/l}$

LAMPIRAN 2

ANALISA AMMONIUM (NH_4^+)

BAHAN-BAHAN:

1. Reagent Nessler

- 100 gr HgI_2 dan 70 gr KI digerus dalam mortir dengan sedikit air sampai halus
- kemudian dilarutkan dalam 160 gr $\text{NaOH}/500$ ml dan diencerkan sampai 1 liter
- biarkan mengendap dahulu dan diambil supernatannya.

2. Garam Signete

- 100 gr K.Na.Tartrat dilarutkan dalam 300 ml air
- ditambah 10 ml reagent Nessler sebagai pengawet
- kemudian diencerkan sampai 1 liter.

3. Larutan Standar Ammonium 100 mg/l NH_4

- menimbang secara teliti 0,2866 gr NH_4Cl
- melarutkan dalam labu ukur 1 liter dengan aquadest
- menambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet

CARA KERJA:

1. memasukkan 25 ml sampel ke dalam erlemeyer
2. menambahkan 1,25 ml garam signeit
3. menambahkan 1 ml nessler

4. mengocok erlemeyer tersebut dan diamkan selama 10 menit
5. mengukur dengan spektronic 20 pada panjang gelombang 420 nm.

PEMBUATAN GRAFIK KALIBRASI

1. Menyiapkan larutan standard dengan konsentrasi
2. Melakukan analisa sesuai dengan cara kerja untuk analisa NH_4^+

Tabel L2.1 KALIBRASI NH_4^+

NH_4^+ (mg/l)	Absorbans
0	0
0,5	0,045
1	0,078
2	0,145
4	0,265
5	0,345
10	0,695
20	1,340

$$Y = a + bX$$

di mana: Y = konsentrasi, mg/l

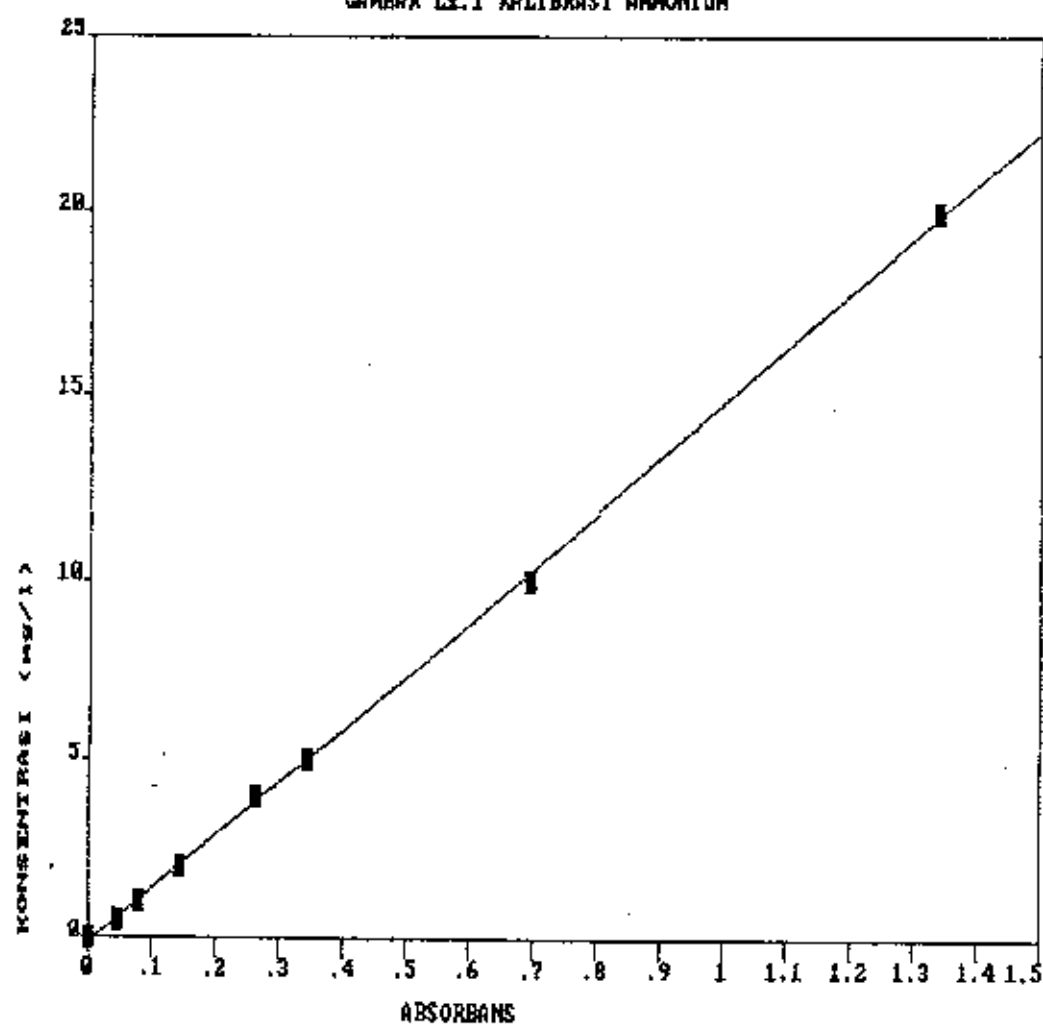
X = absorbans

Dari Grafik L2.1 Kalibrasi NH_4^+ didapatkan:

$$Y = -0,1254165288 + 14,83420262 X$$

$$r^2 = 0,988$$

GAMBAR 14.1 KALIBRASI AMMONIUM



LAMPIRAN 3**ANALISA NITROGEN NITRAT (N-NO_3^-)****BAHAN-BAHAN:****1. Brucin Acetat 0,5%**

melarutkan 0,5 gr brucin dalam labu ukur 100 ml dengan asam acetat glacial (CH_3COOH pekat)

2. H_2SO_4 pekat**3. Larutan Standard Nitrat ($100 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{l}$)**

- menimbang dengan teliti 721,8 mg KNO_3 atau 607,5 mg NaNO_3
- mengencerkannya dalam labu ukur 1 liter

CARA KERJA:

1. memasukkan 2 ml sampel ke dalam erlenmeyer
2. menambahkan 2 ml brucin acetat
4. menambahkan 4 ml H_2SO_4 pekat
5. mengukur dengan spetronic 20 pada panjang gelombang 400 nm.

PEMBUATAN GRAFIK KALIBRASI

1. Menyiapkan larutan standard dengan konsentrasi
2. Melakukan analisa sesuai dengan cara kerja untuk analisa N-NO_3^-

TABEL L3.1 KALIBRASI N-NO_3^-

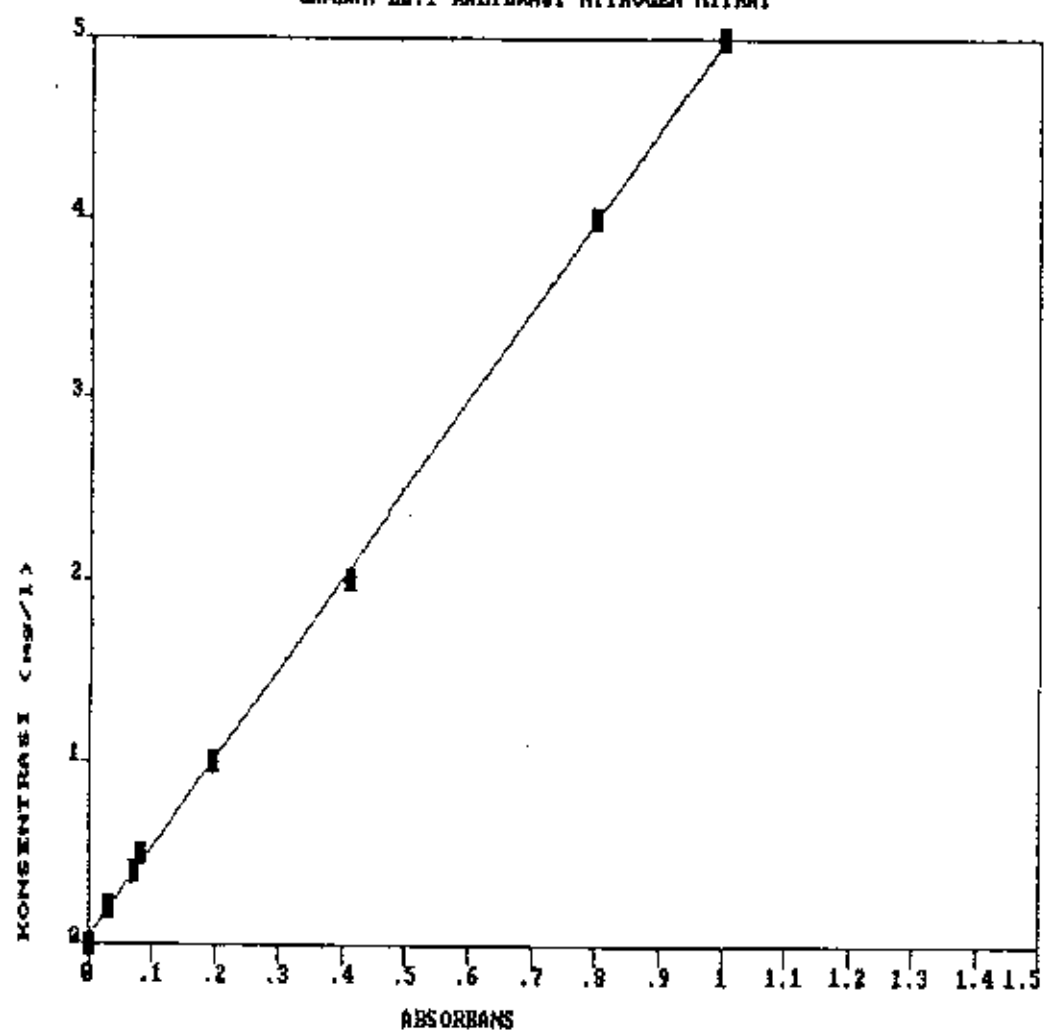
NO_3^- (mg/l)	Absorbans
0,00	0,00
0,20	0,03
0,40	0,07
0,50	0,08
1,00	0,195
2,00	0,41
4,00	0,80
5,00	1,00

Dari grafik L4.1 kalibrasi NO_3^- didapatkan:

$$Y = 0,0405841848 + 4,94216113 X$$

$$r^2 = 0,9995$$

GAMBAR LE.1 KALIBRASI NITROGEN NITRAT



LAMPIRAN 4

PENGUKURAN NITROGEN NITRIT (N-NO_2^-)

BAHAN-BAHAN:

1. Sulfanilic Acid

- 1 gr sulfanilic acid dan 5 ml HCl pekat diencerkan dengan aquadest sampai 100 ml.

2. NED dihydrochloride

- 100 mg NED dihydrochloride dilarutkan dengan aquadest bebas nitrit sampai 100 ml

3. Larutan standard Nitrit ($100 \text{ mg N-NO}_2^-/\text{l}$)

- menimbang dengan teliti 492,9 mg NaNO_2
- mengencerkannya dalam labu ukur 1 liter.

CARA KERJA

1. Memipet 25 ml sampel yang telah disaring, kemudian masukkan dalam erlenmeyer 25 ml
2. Menambahkan 0,5 ml larutan Sulfanilic acid
3. Menambahkan 0,5 ml NED dihydrochloride, kocok dan mendiamkannya selama 15 menit
4. Membaca absorbansinya pada spektronic 20 dengan panjang gelombang 640 nm.

PEMBUATAN GRAFIK KALIBRASI

1. Menyiapkan larutan standard dengan konsentrasi
2. Melakukan analisa sesuai dengan cara kerja untuk analisa N-NO_2^-

TABEL L4.1 KALIBRASI N-NO_2^-

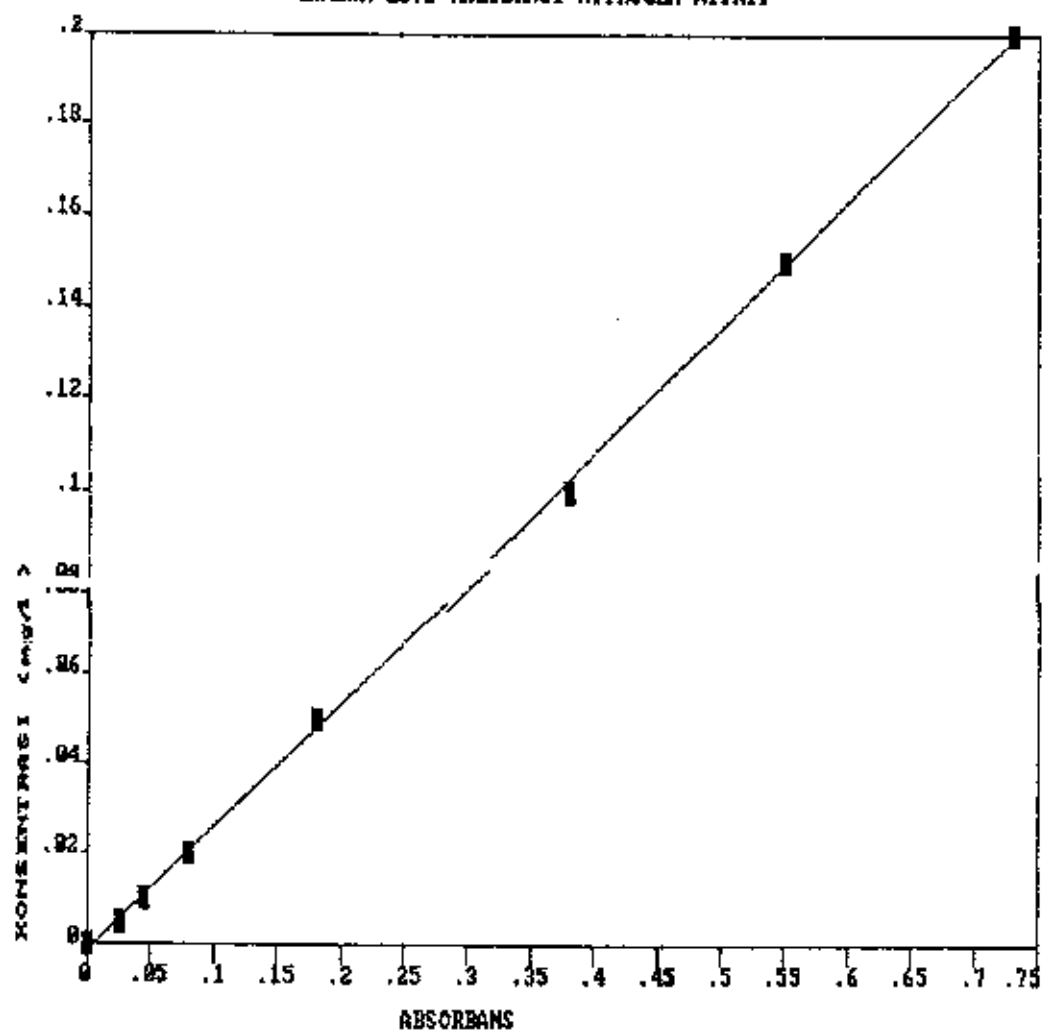
NO_2^- (mg/l)	Absorbans
0,00	0
0,005	0,025
0,01	0,045
0,02	0,080
0,05	0,180
0,10	0,380
0,15	0,550
0,20	0,730

Dari grafik L5.1 kalibrasi NO_2^- didapatkan:

$$Y = -0,001905360034 + 0,0.2751214401 X$$

$$r^2 = 0,9895$$

GAMBAR L3.1 KALIBRASI NITROGEN NITRIIT



LAMPIRAN 5

ANALISA PERMANGANAT VALUE (PV)

CARA KERJA:

1. Erlemeyer dibebaskan dari zat organik, dengan cara sebagai berikut:
 - a. mengisi erlemeyer dengan air/aquadest
 - b. menambahkan larutan KMnO_4 0,01 N sampai timbul warna ungu
 - c. memanaskan ± 10 menit, dan apabila warna ungu hilang tambahkan lagi KMnO_4 0,01 N sampai warna ungu tetap ada setelah dipanaskan ± 10 menit
 - d. Air tersebut dibuang, dengan demikian erlemeyer tersebut telah bebas zat organik.
2. Elemeyer yang telah dibebaskan zat organik diisi dengan 100 ml sampel dan tambahkan 2 ml H_2SO_4 serta ditambahkan KMnO_4 sampai warna ungu
3. Memanaskan sampai mendidih, kemudian tambahkan 10 ml KMnO_4 dan dipanaskan kembali selama ± 10 menit
4. Menambahkan 1 ml asam oxalat 0,01 N dan setelah warna ungu hilang dititrasi dengan KMnO_4 sampai timbul warna merah muda.

PERHITUNGAN

$$PV = \frac{1000}{\text{ml sampel}} [(10+a)N \text{ KMnO}_4 - (b \cdot N \text{ Oxalat})] 31,6 \cdot P$$

dimana: PV = angka Permanganat (mg/l)

a = volume titran KMnO_4 (ml)

b = volume penambahan asam oxalat (ml)

N KMnO_4 = normalitas KMnO_4

N oxalat = normalitas asam oxalat

P = derajat pengenceran

LAMPIRAN 6

ANALISA BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND (BOD)

CARA KERJA ANALISA BOD

Pada prinsipnya, analisa BOD sama dengan analisa oksigen terlarut, yaitu:

1. Sampel yang telah ada di dalam botol Winkler ditambahkan 2 ml larutan $MnSO_4$ dan 2 ml larutan pereaksi oksigen
2. Menutup kembali botol dengan hati-hati untuk mencegah terperangkapnya udara luar, kemudian mengocok botol tersebut
3. Membiarkannya selama 10 menit agar gumpalan menjadi turun
4. Menambahkan 2 ml H_2SO_4 pekat dan menutup botol tersebut kembali, dan dikocok
5. mengambil 100 ml dari botol winkler tersebut dan memasukkannya dalam erlemeyer
6. Menambahkan amylum sampai terbentuk warna biru kehitaman
7. Menitrasi erlemeyer tersebut dengan larutan $Na_2S_2O_3$ sampai warna biru hilang dan mencatat volume titran

PERHITUNGAN

1. Oksigen Terlarut (OT)

$$OT = \frac{a \cdot N \cdot 8000}{V} \cdot P$$

dimana: OT = oksigen terlarut, mg/l

a = volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, ml

N = normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, N

c = volume yang dititrasi, ml

2. BOD_5^{20}

$$\text{BOD}_5^{20} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] (1-P)}{P}$$

dimana: BOD_5^{20} = oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi zat organik pada suhu 20°C dan selama 5 hari O_2

X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t=0$ hari, mg/l O_2

X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t=5$ hari, mg/l O_2

B_0 = oksigen terlarut blanko pada $t=0$ hari, mg/l O_2

B_5 = oksigen terlarut blanko pada $t=5$ hari, mg/l O_2

LAMPIRAN 7

ANALISA MLSS DAN MLVSS

CARA KERJA ANALISA MLSS:

1. Memanaskan kertas saring dan cawan dalam oven pada suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ selama satu jam, setelah didinginkan dalam desikator selama 15 menit, kertas saring tersebut ditimbang
2. Mengambil 50 ml yang sudah dikocok merata dan dimasukkan dalam alat penyaring, yang telah ada kertas saring di dalamnya. Penyaringan dilakukan dengan sistem vacuum
3. Filter kertas bersama residu hasil penyaringan dimasukkan dalam cawan yang telah ditimbang dan kemudian dipanaskan kembali dalam oven 105°C selama satu jam. Kemudian didinginkan dalam desikator selama ± 15 menit dan ditimbang.

ANALISA MLVSS:

1. Setelah menentukan MLSS, kertas saring + residu dalam cawan dipanaskan pada furnace 550°C selama 1 jam kemudian dipanaskan pada oven 105°C selama setengah jam

2. Setelah itu didinginkan dalam desikator ± 15 menit dan segera ditimbang.

PERHITUNGAN:

$$MLSS = \frac{(a - (b + c)) \cdot 1000}{c}$$

$$MLVSS = MLSS - \left[\frac{e - b}{c} \right]$$

dimana: MLSS = mixed liquor suspended solid, mg/l

a = berat cawan, kertas saring dan residu sesudah pemanasan 105°C , mg

b = berat cawan sesudah pemanasan 105°C , mg

c = berat kertas saring sesudah pemanasan 105°C , mg

d = volume sampel yang disaring (ml)

e = berat cawan dan residu setelah pemanasan 550°C , mg

LAMPIRAN 8

ANALYTICAL QUALITY CONTROL (AQC) NH_4^+

1. Menyiapkan larutan standard NH_4^+ yang nantinya akan dianalisa sesuai dengan cara kerja analisa NH_4^+ . Larutan standard ini diusahakan dibuat mendekati konsentrasi sampel yang akan dianalisa untuk menambah ketelitian. Selain itu larutan harus dibuat dari bahan kimia yang pro analisa (p.a).
2. Alat-alat kimia yang akan digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
3. Analisa larutan standard yang telah diketahui konsentrasinya dilakukan sebanyak minimal 30 kali.
4. Hitung nilai rata-rata dan standard deviasi dari data yang telah diperoleh, kemudian buatlah histogram distribusi frekuensi dan mencari ukuran akurasi dan presisi.
5. Membuat suatu control chart untuk memantau proses analisa sampel.
6. Penyebaran data disekitar nilai rata-rata pada control chart tidak melebihi batas atas ($\bar{x} + 2\sigma$) dan batas bawah ($\bar{x} - 2\sigma$).

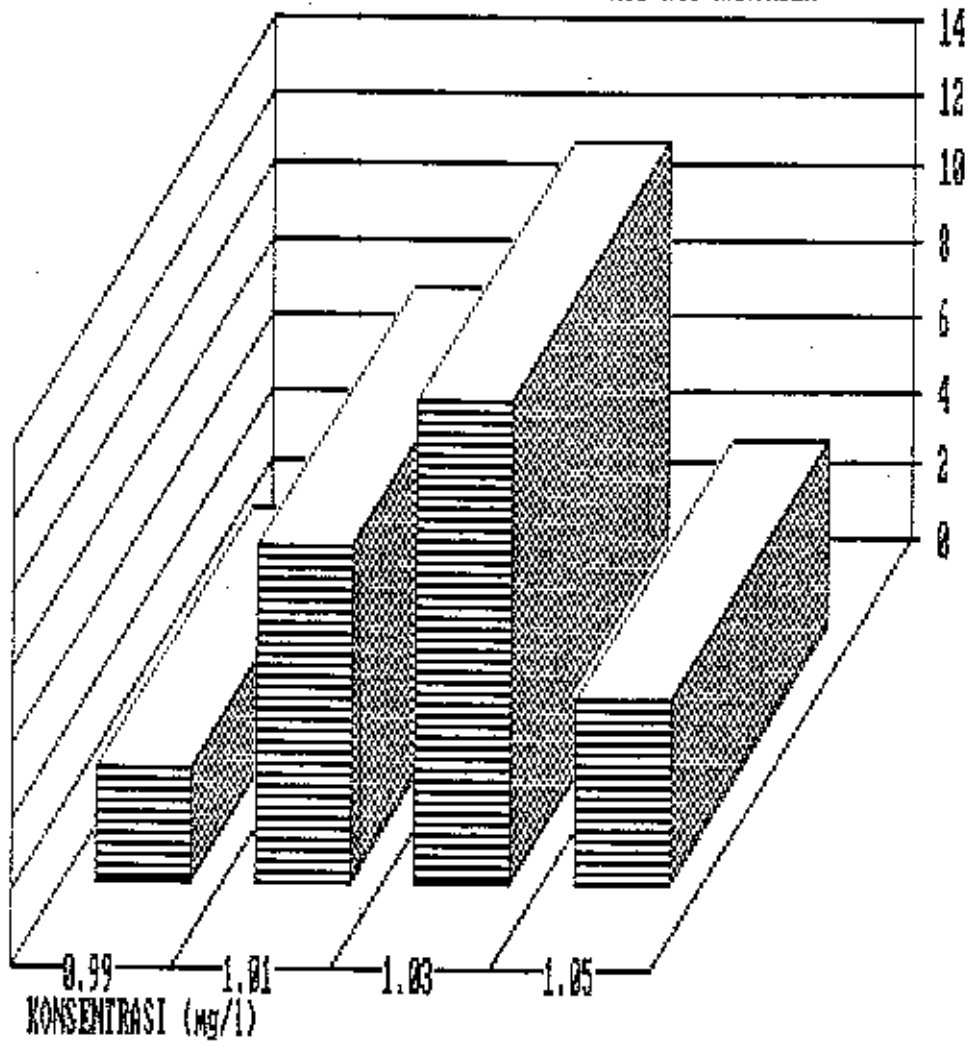
TABEL L8.1 ANALITYCAL QUALITY CONTROL AMONIUM

NO	ABSORBANS	KONSENTRASI NH4 (mg/l)
1	0.079	1.0352
2	0.078	1.0202
3	0.079	1.0352
4	0.079	1.0352
5	0.078	1.0202
6	0.076	0.9902
7	0.076	0.9902
8	0.075	0.9752
9	0.076	0.9902
10	0.076	0.9902
11	0.079	1.0352
12	0.076	0.9902
13	0.078	1.0202
14	0.082	1.0802
15	0.076	0.9902
16	0.076	0.9902
17	0.078	1.0202
18	0.078	1.0202
19	0.076	0.9902
20	0.078	1.0202
21	0.078	1.0202
22	0.076	0.9902
23	0.078	1.0202
24	0.078	1.0202
25	0.078	1.0202
26	0.078	1.0202
27	0.075	0.9752
28	0.078	1.0202
29	0.078	1.0202
30	0.082	1.0802

Konsentrasi NH4 rata-rata = 1.0142 mg/l

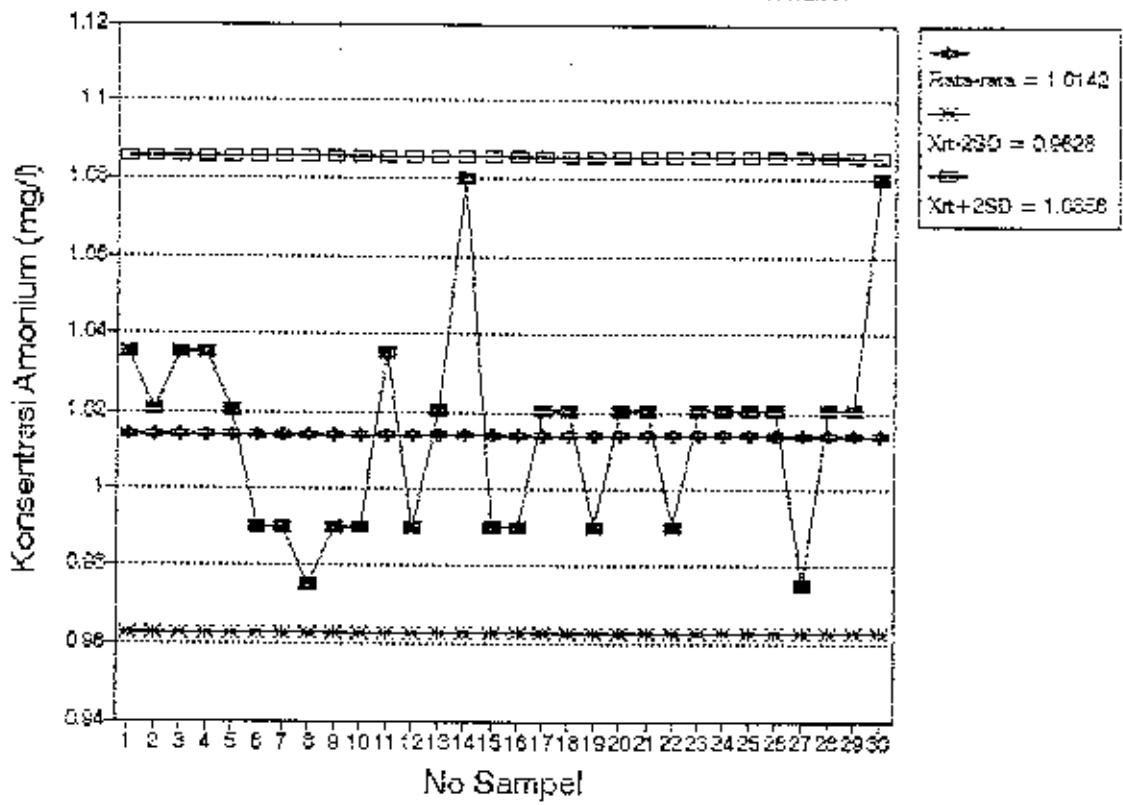
Standard deviasi = 0.0257

GAMBAR 18.1 DISTRIBUSI FREKUENSI AQG AMMONIUM



KONSENTRASI (mg/l)

Gambar L8.2 Control Chart Amonium



LAMPIRAN 9

ANALYTICAL QUALITY CONTROL (AQC) N-NO_3^-

1. Menyiapkan larutan standard N-NO_3^- yang nantinya akan dianalisa sesuai dengan cara kerja analisa N-NO_3^- . Larutan standard ini diusahakan dibuat mendekati konsentrasi sampel yang akan dianalisa untuk menambah ketelitian. Selain itu larutan harus dibuat dari bahan kimia yang pro analisa (p.a).
2. Alat-alat kimia yang akan digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
3. Analisa larutan standard yang telah diketahui konsentrasinya dilakukan sebanyak minimal 30 kali.
4. Hitung nilai rata-rata dan standard deviasi dari data yang telah diperoleh, kemudian buatlah histogram distribusi frekuensi dan mencari ukuran akurasi dan presisi.
5. Membuat suatu control chart untuk memantau proses analisa sampel.
6. Penyebaran data disekitar nilai rata-rata pada control chart tidak melebihi batas atas ($\bar{x} + 2\sigma$) dan batas bawah ($\bar{x} - 2\sigma$).

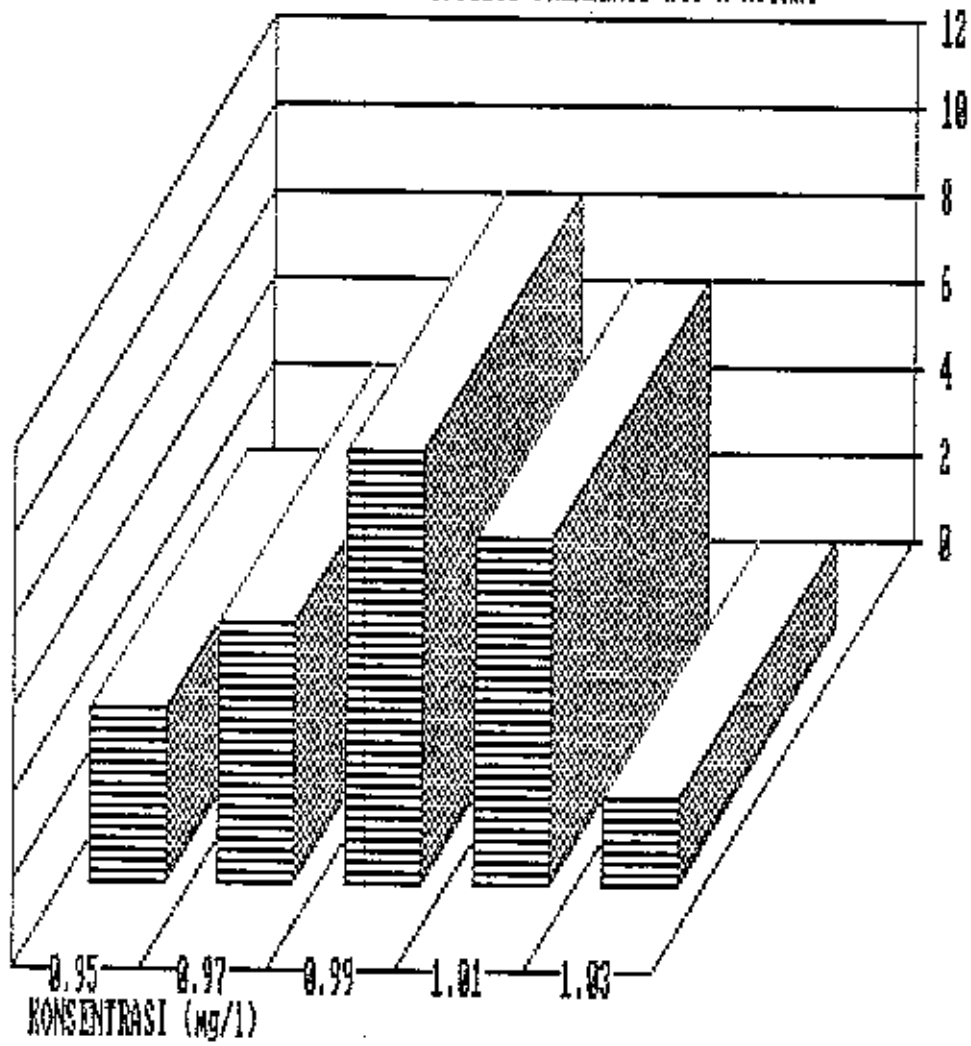
TABEL L9.1 ANALITYCAL QUALITY CONTROL NITROGEN NITRAT

NO	ABSORBANS	KONSENTRASI N-NO ₃ (mg/l)
1	0.185	0.9549
2	0.195	1.0043
3	0.195	1.0043
4	0.195	1.0043
5	0.200	1.0290
6	0.190	0.9796
7	0.185	0.9549
8	0.195	1.0043
9	0.195	1.0043
10	0.190	0.9796
11	0.190	0.9796
12	0.185	0.9549
13	0.195	1.0043
14	0.200	1.0290
15	0.200	1.0290
16	0.200	1.0290
17	0.200	1.0290
18	0.200	1.0290
19	0.190	0.9796
20	0.190	0.9796
21	0.200	1.0290
22	0.195	1.0043
23	0.190	0.9796
24	0.195	1.0043
25	0.195	1.0043
26	0.200	1.0290
27	0.195	1.0043
28	0.185	0.9549
29	0.200	1.0290
30	0.200	1.0290

Konsentrasi N-NO₃ rata-rata = 1.000997 mg/l

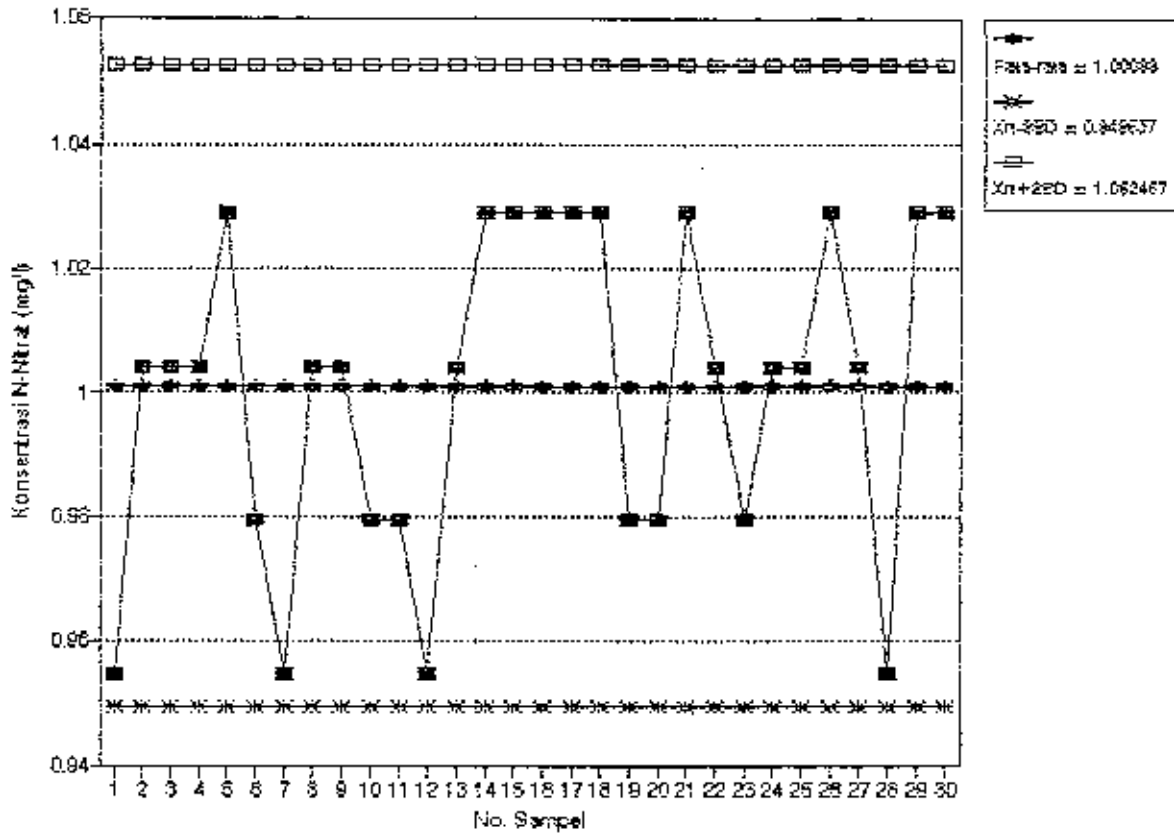
Standard deviasi = 0.02573

GAMBAR L9.1 DISTRIBUSI FREKUENSI AQG H-NITRAT



KONSENTRASI (mg/l)

Gambar L9.2 Control Chart N-Nitrat



LAMPIRAN 10

ANALYTICAL QUALITY CONTROL (AQC) N-NO_2^-

1. Menyiapkan larutan standard N-NO_2^- yang nantinya akan dianalisa sesuai dengan cara kerja analisa N-NO_2^- . Larutan standard ini diusahakan dibuat mendekati konsentrasi sampel yang akan dianalisa untuk menambah ketelitian. Selain itu larutan harus dibuat dari bahan kimia yang pro analisa (p.a).
2. Alat-alat kimia yang akan digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
3. Analisa larutan standard yang telah diketahui konsentrasinya dilakukan sebanyak minimal 30 kali.
4. Hitung nilai rata-rata dan standard deviasi dari data yang telah diperoleh, kemudian buatlah histogram distribusi frekuensi dan mencari ukuran akurasi dan presisi.
5. Membuat suatu control chart untuk memantau proses analisa sampel.
6. Penyebaran data disekitar nilai rata-rata pada control chart tidak melebihi batas atas ($\bar{x} + 2\sigma$) dan batas bawah ($\bar{x} - 2\sigma$).

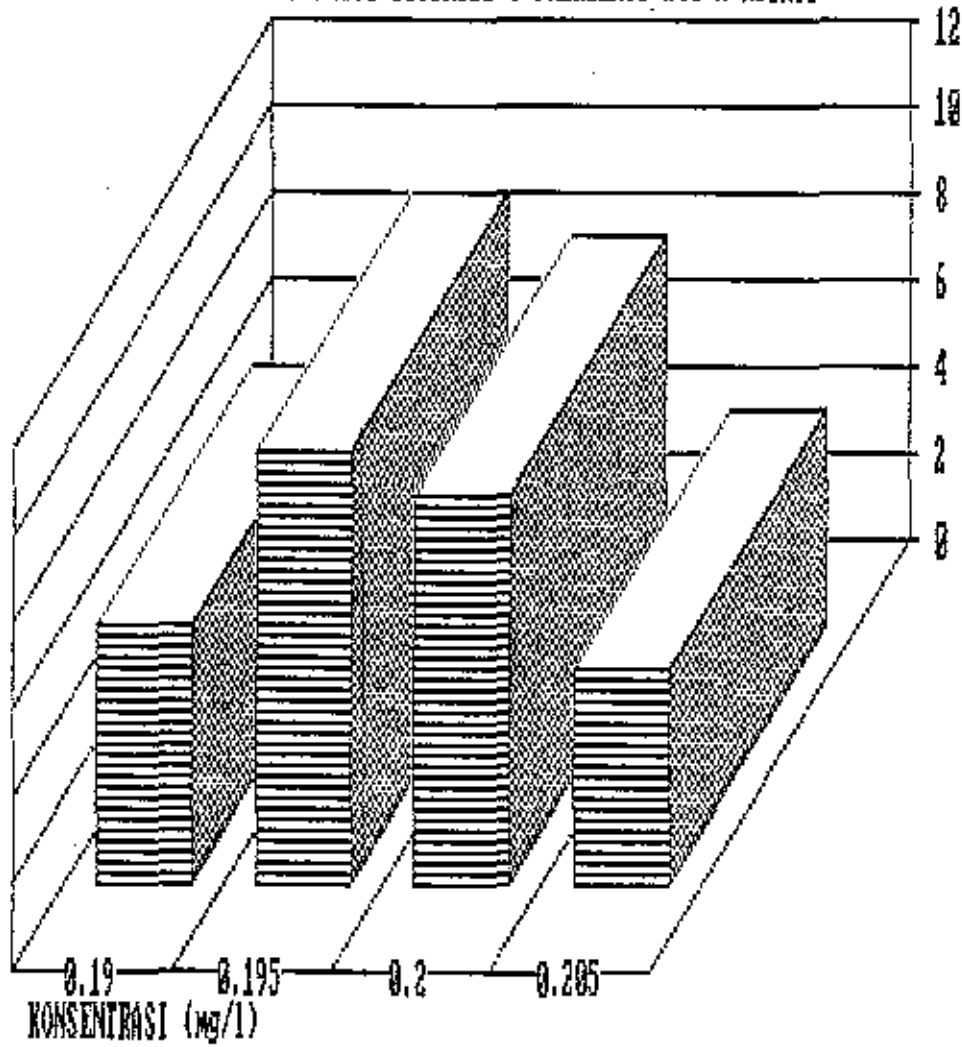
TABEL L10.1 ANALYTICAL QUALITY CONTROL NITROGEN NITRIT

NO	ABSORBANS	KONSENTRASI N-NO ₂ (mg/l)
1	0.73	0.1989
2	0.73	0.1989
3	0.74	0.2017
4	0.74	0.2017
5	0.73	0.1989
6	0.73	0.1989
7	0.73	0.1989
8	0.74	0.2017
9	0.74	0.2072
10	0.72	0.1962
11	0.74	0.2017
12	0.73	0.1989
13	0.74	0.2017
14	0.74	0.2017
15	0.72	0.1962
16	0.72	0.1962
17	0.74	0.2017
18	0.72	0.1962
19	0.73	0.1989
20	0.72	0.1962
21	0.72	0.1962
22	0.73	0.1989
23	0.73	0.1989
24	0.74	0.2017
25	0.72	0.1962
26	0.74	0.2017
27	0.73	0.1989
28	0.73	0.1989
29	0.74	0.2017
30	0.74	0.2017

Konsentrasi rata-rata N-NO₂ = 0.199957 mg/l

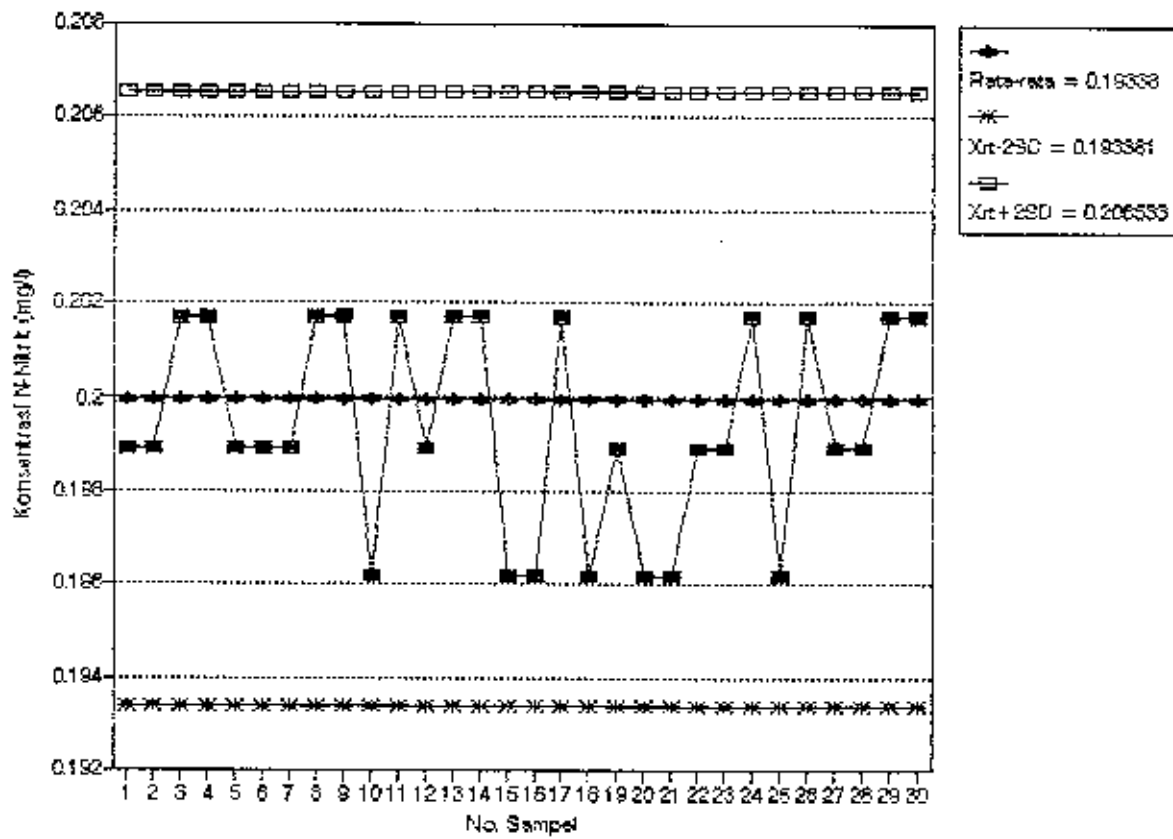
Standard deviasi = 0.003288

GAMBAR L10.1 DISTRIBUSI FREKUENSI AQG N-NITRIT



DISTRIBUSI FREKUENSI

Gambar L10.2 Control Chart N-Nitrit



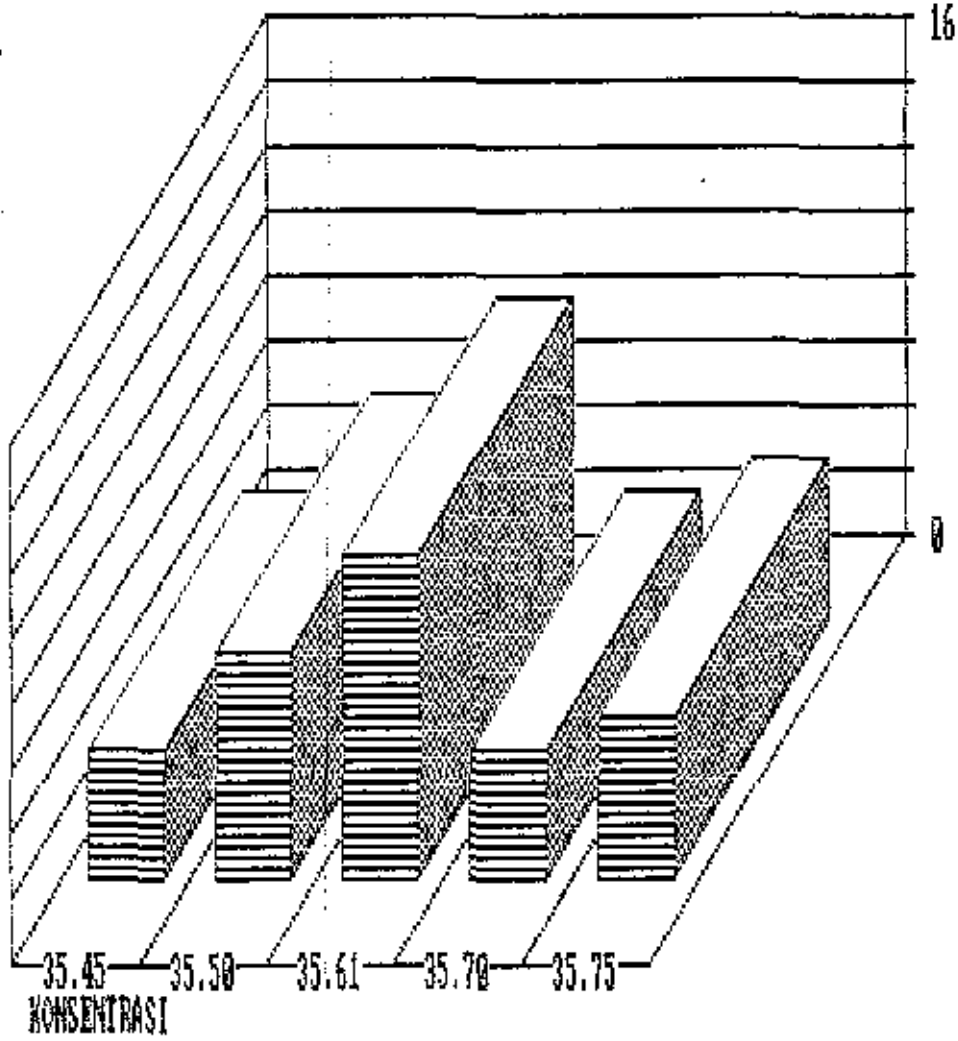
TABEL L11.1 ANALITYCAL QUALITY CONTROL PV

NO	Vol KMnO ₄ (ml)	KONSENTRASI PV (mg/l)
1	2.800	35.45
2	2.810	35.50
3	2.820	35.61
4	2.820	35.61
5	2.830	35.75
6	2.830	35.75
7	2.824	35.70
8	2.800	35.45
9	2.810	35.50
10	2.820	35.61
11	2.820	35.61
12	2.810	35.50
13	2.800	35.45
14	2.810	35.50
15	2.820	35.61
16	2.810	35.50
17	2.824	35.70
18	2.830	35.75
19	2.824	35.70
20	2.820	35.61
21	2.810	35.50
22	2.800	35.45
23	2.810	35.50
24	2.820	35.61
25	2.820	35.61
26	2.830	35.75
27	2.830	35.75
28	2.820	35.61
29	2.824	35.70
30	2.820	35.61

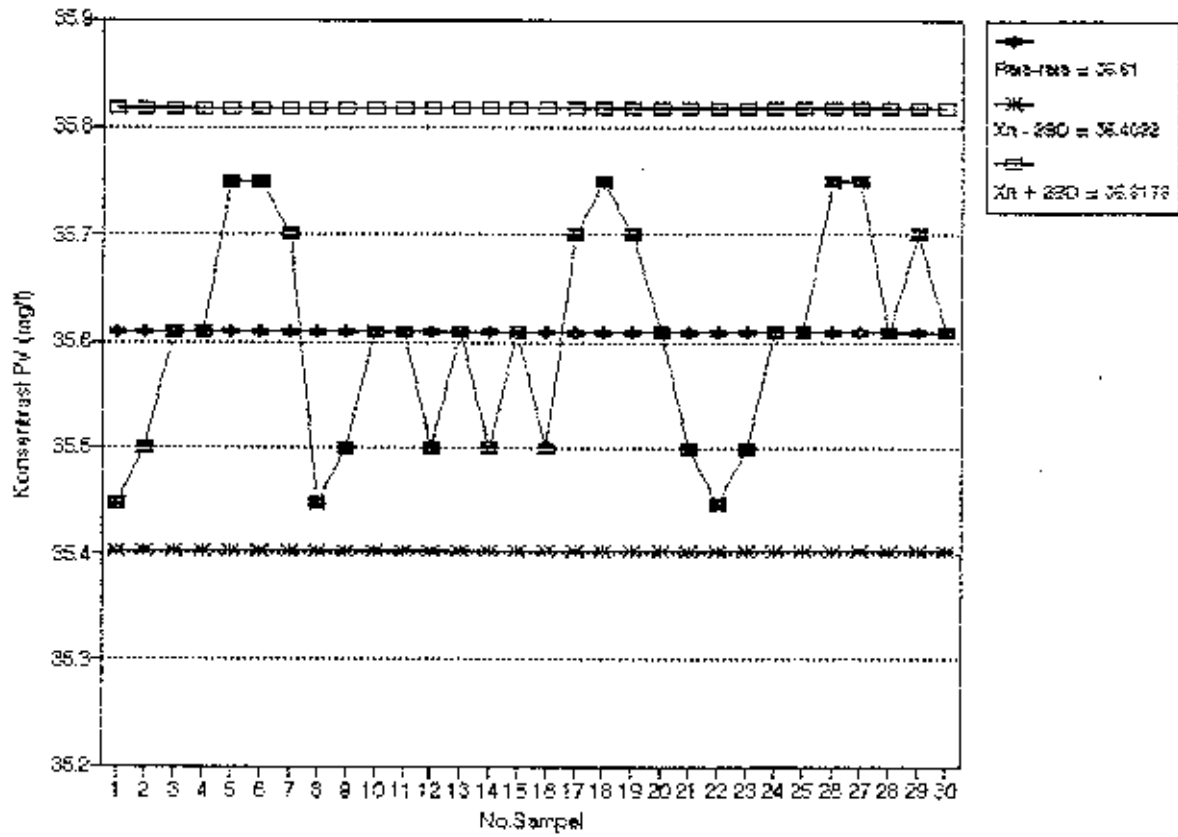
Konsentrasi rata-rata PV = 35.61 mg/l

standard deviasi = 0.1039

L11.1 DISTRIBUSI FREKUENSI AQG PV



Gambar L11.2 Control Chart PV



LAMPIRAN 12

ANALITYCAL QUALITY CONTROL (AQC) BOD

1. Menyiapkan larutan standard BOD yang nantinya akan dianalisa sesuai dengan cara kerja analisa NH_4^+ . Larutan standard ini diusahakan dibuat mendekati konsentrasi sampel yang akan dianalisa untuk menambah ketelitian. Selain itu larutan harus dibuat dari bahan kimia yang pro analisa (p.a).
2. Alat-alat kimia yang akan digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
3. Analisa larutan standard yang telah diketahui konsentrasinya dilakukan sebanyak minimal 30 kali.
4. Hitung nilai rata-rata dan standard deviasi dari data yang telah diperoleh, kemudian buatlah histogram distribusi frekuensi dan mencari ukuran akurasi dan presisi.
5. Membuat suatu control chart untuk memantau proses analisa sampel.
6. Penyebaran data disekitar nilai rata-rata pada control chart tidak melebihi batas atas ($\bar{x} + 2\sigma$) dan batas bawah ($\bar{x} - 2\sigma$).

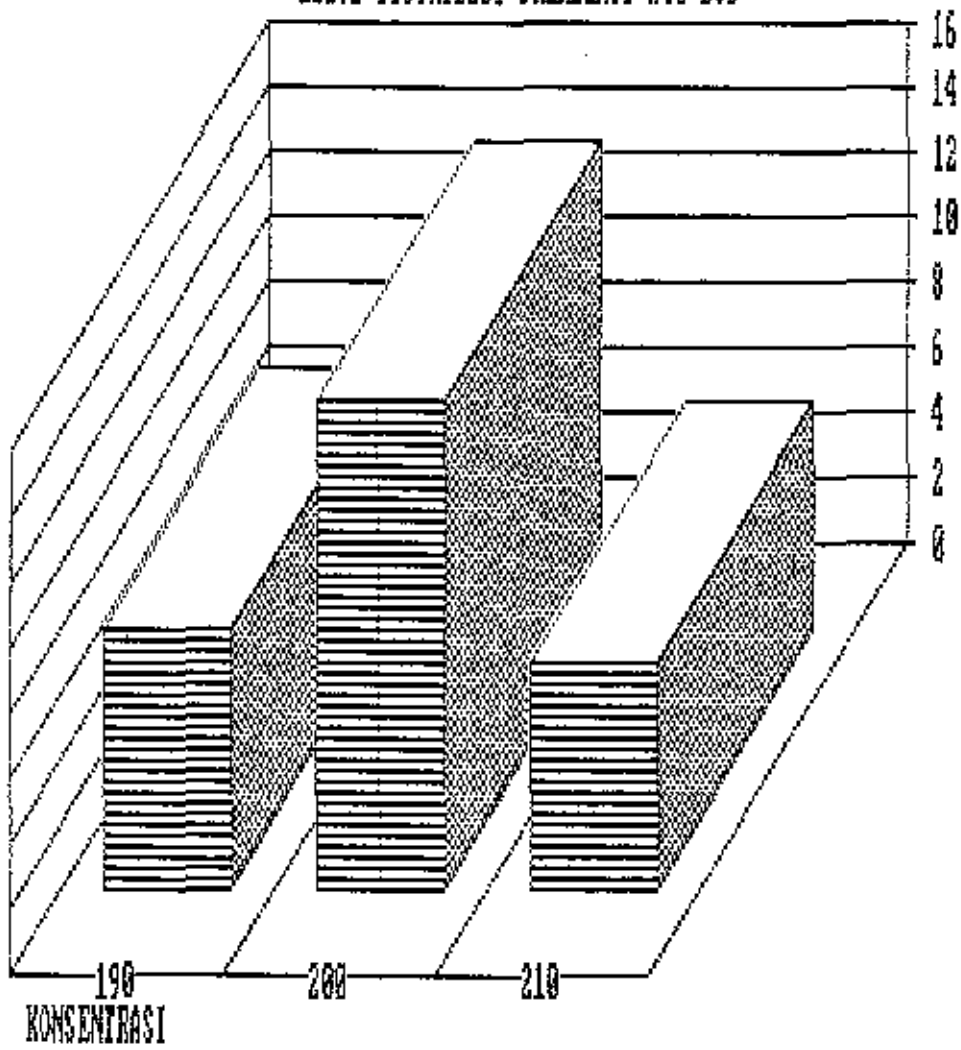
TABEL L12.1 ANALITYCAL QUALITY CONTROL BOD

NO	KONSENTRASI BOD (mg/l)
1	215
2	217
3	202
4	206
5	204
6	195
7	190
8	195
9	196
10	205
11	205
12	202
13	215
14	214
15	202
16	210
17	208
18	212
19	195
20	207
21	212
22	195
23	207
24	212
25	205
26	190
27	203
28	203
29	209
30	197

Konsentrasi rata-rata BOD = 204.6 mg/l

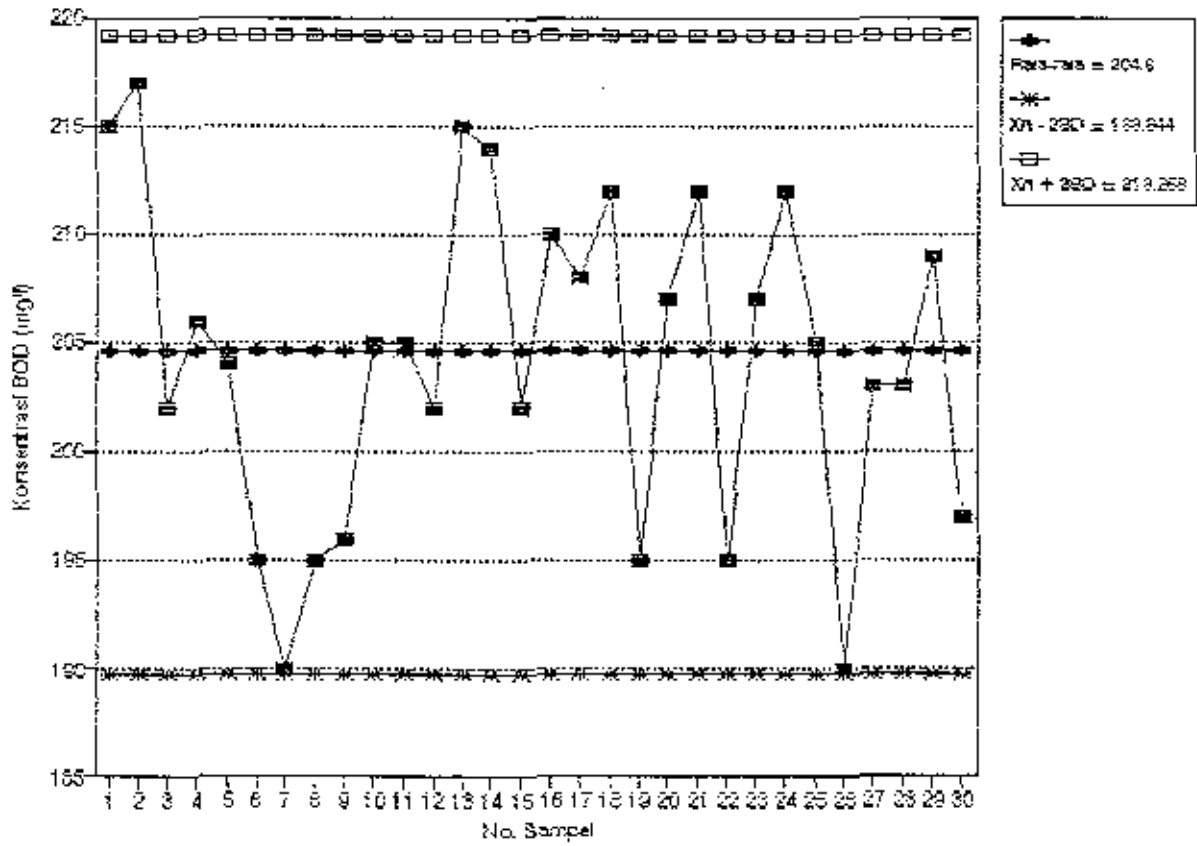
Standard deviasi = 7.3278

L12.1 DISTRIBUSI FREKUENSI AQG BOD



KONSENTRASI

Gambar L12,2 Control Chart BOD



LAMPIRAN 11

KALIBRASI ROTAMETER (FLOW UDARA)

ALAT-ALAT:

1. Volume meter udara dengan kapasitas tertentu
2. Flow meter udara dengan skala tertentu
3. Kompresor
4. Stopwatch

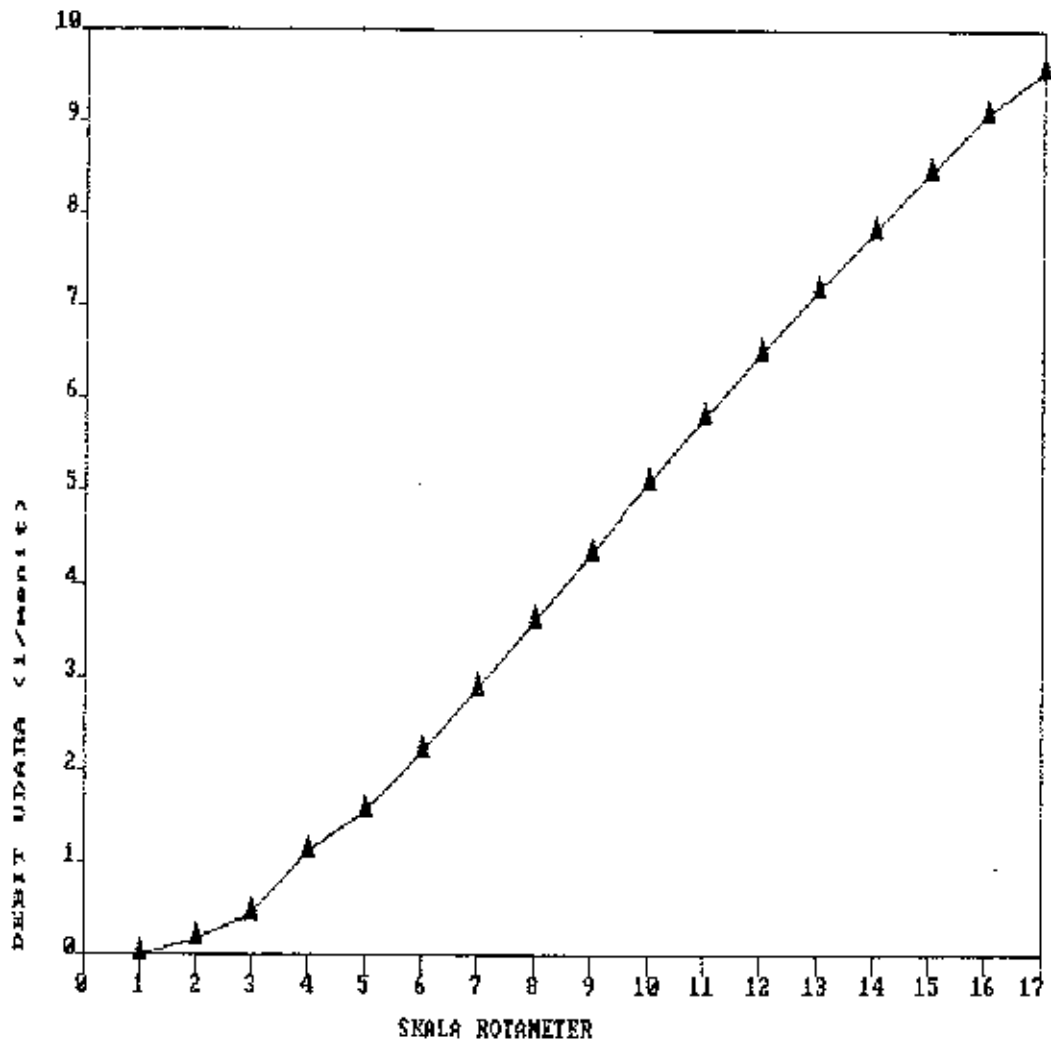
CARA KERJA

1. Menghubungkan flow meter udara dengan kompresor dan volume meter udara
2. Melakukan set Stop watch untuk waktu satu menit
3. Mencatat volume meter udara yang melalui volume meter selama satu menit pada setiap skala tertentu dari flow meter
4. Melakukan sebanyak tiga kali pada setiap skala alat
5. Melakukan rata-rata hitung
6. Membuat kurva kalibrasi

TABEL L13.1 KALIBRASI ROTAMETER UDARA

SKALA ALAT	DEBIT (l/menit)
10	0,1786
15	0,4545
20	0,7879
25	1,1875
30	1,5652
40	2,1989
50	2,7942
60	3,5096
70	4,2572
80	5,0772
90	5,7964
100	6,4867
110	7,0928
120	7,8318
130	8,4639
140	9,0833
150	9,5711

GAMBAR L13.1 KALIBRASI ROTAMETER UDARA



Year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Pada Loading (mg/L-hari)	Konsentrasi BOD influen (mg/L)	Konsentrasi NH4 influen (mg/L)	BOD/N	pH influen	pH effluen
5.00	215.25	10.48	20.54	7.88	7.88
5.00	354.58	17.54	20.22	7.85	7.67
5.00	525.86	28.15	20.11	7.87	7.68
5.00	282.93	22.97	10.14	7.88	7.83
5.00	382.40	35.45	10.22	7.89	7.63
5.00	510.73	50.40	10.13	7.85	7.68
5.00	225.88	43.95	5.21	7.87	7.43
5.00	358.12	80.97	5.87	7.88	7.41
5.00	504.76	90.73	5.58	7.85	7.38
5.00	233.81	114.17	2.05	7.85	7.16
5.00	368.07	185.58	2.20	7.89	7.11
5.00	495.85	232.40	2.13	7.89	7.08
7.00	231.33	11.18	20.89	7.78	7.84
7.00	345.25	16.45	20.89	7.85	7.78
7.00	531.27	25.31	20.89	7.89	7.79
7.00	213.27	19.58	10.89	7.86	7.55
7.00	339.21	30.18	11.24	7.87	7.55
7.00	514.27	49.37	10.42	7.84	7.53
7.00	238.79	43.50	5.51	7.87	7.56
7.00	380.22	72.43	4.97	7.92	7.58
7.00	493.12	95.41	5.11	7.88	7.53
7.00	188.55	99.65	1.99	7.88	7.33
7.00	355.88	178.53	1.99	7.81	7.38
7.00	532.70	250.16	2.13	7.68	7.33
10.00	221.43	10.81	20.87	7.79	7.88
10.00	355.70	17.74	20.11	7.84	7.74
10.00	538.21	28.58	20.30	7.86	7.75
10.00	188.25	19.02	10.42	7.85	7.87
10.00	361.38	36.75	9.83	7.89	7.89
10.00	545.13	55.77	9.79	7.88	7.88
10.00	210.80	36.55	5.47	7.88	7.59
10.00	367.98	82.68	5.67	7.87	7.58
10.00	545.17	104.08	5.24	7.85	7.58
10.00	232.23	93.73	2.95	7.88	7.38
10.00	386.89	185.84	1.87	7.82	7.41
10.00	528.99	285.54	1.96	7.87	7.25

BEL L14.3 DATA HASIL PENELITIAN

Hasil Loading (mg/kg)	Konsentrasi BODIHAN (mg)	Konsentrasi TANPA INHIBITOR (mg)	BODIN	Konsentrasi COD INHIBITOR (mg/L)	COD Loading (kg/m ² /hr)	CODIN	Konsentrasi BODIHAN (mg)	Konsentrasi COD (%)
5.00	215.25	10.48	20.64	274.00	0.77	28.16	13.00	95.28
5.00	364.88	17.64	80.22	448.00	1.28	26.43	18.00	86.98
5.00	625.88	28.16	20.11	738.00	2.08	28.28	47.00	63.84
5.00	232.83	22.87	10.14	287.00	0.84	12.93	10.00	86.53
5.00	362.40	36.45	10.22	468.00	1.25	12.58	12.00	87.37
5.00	610.73	50.40	10.13	860.00	1.84	12.80	36.00	84.82
5.00	226.88	43.36	5.21	278.00	0.79	6.41	17.00	83.88
5.00	368.12	80.97	6.87	441.00	1.26	7.23	34.00	92.28
5.00	604.78	80.73	6.68	663.00	1.86	7.20	59.00	80.88
5.00	233.21	154.17	2.06	288.00	0.84	8.91	48.00	84.68
5.00	365.07	186.68	2.20	443.00	1.25	2.89	68.00	87.38
5.00	486.86	232.40	2.15	624.00	1.78	2.88	82.00	88.88
7.00	231.33	11.18	20.68	282.00	1.12	26.22	14.00	95.04
7.00	345.25	18.45	20.88	413.00	1.84	25.11	20.00	95.18
7.00	631.27	25.31	20.88	850.00	2.68	25.88	14.00	87.88
7.00	213.27	18.62	10.88	288.00	1.08	13.68	11.00	86.88
7.00	338.21	30.18	11.24	428.00	1.70	14.18	14.00	98.73
7.00	614.27	48.37	10.42	848.00	2.68	13.16	30.00	96.36
7.00	238.78	43.60	5.61	288.00	1.18	8.80	25.00	92.23
7.00	380.22	72.43	4.87	450.00	1.83	8.35	45.00	80.22
7.00	483.12	98.41	5.11	830.00	2.60	8.63	91.00	87.14
7.00	128.68	88.86	1.88	847.00	0.98	2.47	44.00	82.18
7.00	366.88	178.63	1.88	433.00	1.72	2.43	74.00	82.81
7.00	638.70	260.16	2.13	884.00	2.84	2.96	117.00	82.38
10.00	221.43	10.81	20.87	278.00	1.68	28.30	22.00	82.11
10.00	368.70	17.74	20.11	444.00	2.61	26.03	63.00	88.06
10.00	638.21	28.68	20.30	878.00	3.34	26.88	88.00	87.04
10.00	188.26	18.02	10.48	241.00	1.36	12.87	16.00	83.38
10.00	381.38	38.76	8.23	467.00	2.68	12.44	45.00	90.15
10.00	646.13	55.77	8.78	688.00	3.78	12.00	84.00	86.86
10.00	210.80	38.63	6.47	262.00	1.43	9.64	28.00	88.48
10.00	387.88	62.88	6.67	466.00	2.67	7.28	86.00	86.71
10.00	645.17	104.08	6.24	888.00	3.88	8.81	137.00	80.08
10.00	232.23	98.73	2.36	283.00	1.88	2.87	71.00	75.77
10.00	368.88	186.84	1.87	468.00	2.68	2.46	88.00	78.28
10.00	628.88	286.64	1.88	848.00	3.86	2.43	188.00	70.74

LAMPIRAN 15

CONTOH PERHITUNGAN KEBUTUHAN UDARA DALAM REAKTOR

Pada penelitian ini, debit udara yang digunakan konstan yaitu 2,2 l/menit.

Jika diketahui ρ udara = 1164,8 mg/l dengan kandungan oksigen 21% dan efisiensi transfer oksigen diasumsikan sebesar 10% (efisiensi transfer oksigen antara 10-30%), maka:

$$\begin{aligned} \text{Massa udara influen} &= Q \text{ udara} \times \rho \\ &= 2,2 \text{ l/menit} \times 1164,8 \text{ mg/l} \times 0,21 \times 0,1 \\ &= 53,82 \text{ mg O}_2/\text{menit} \end{aligned}$$

Untuk debit air sebesar 1,85 ml/detik (0,11 l/menit), kebutuhan oksigen reaktor adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan oksigen reaktor} &= DO_{in} - DO_{eff} + O_2 \text{ transfer} \\ &= [(0,3 - 5,12) \times 0,11 + 53,82 \\ &= 53,28 \text{ mg O}_2/\text{menit} \end{aligned}$$

LAMPIRAN 11

ANALYTICAL QUALITY CONTROL (AQC) PV

1. Menyiapkan larutan PV dengan konsentrasi yang sama yang nantinya akan dianalisa sesuai dengan cara kerja analisa PV. Larutan standard ini diusahakan dibuat mendekati konsentrasi sampel yang akan dianalisa untuk menambah ketelitian. Selain itu larutan harus dibuat dari bahan kimia yang pro analisa (p.a).
2. Alat-alat kimia yang akan digunakan dikalibrasi terlebih dahulu.
3. Analisa larutan standard yang telah diketahui konsentrasinya dilakukan sebanyak minimal 30 kali.
4. Hitung nilai rata-rata dan standard deviasi dari data yang telah diperoleh, kemudian buatlah histogram distribusi frekuensi dan mencari ukuran akurasi dan presisi.
5. Membuat suatu control chart untuk memantau proses analisa sampel.
6. Penyebaran data disekitar nilai rata-rata pada control chart tidak melebihi batas atas ($\bar{x} + 2\sigma$) dan batas bawah ($\bar{x} - 2\sigma$).